TITAN SERPENT WIMP MAYA SOLEIL ANTARCTIQUE VAISSEAU ASTÉROÏDE GROSSESSE LAPIN AUTOMÉDICATION TÉLÉPHÉRIQUE BLÉ TRANSSIBÉRIEN

SCIENCE & VIE

OCTOBRE 2016 N°1189 MONDADORI FRANCE



NOMBRES PREMIERS
ILS CACHENT UN CODE SECRET !

PARTICULE X
CONSTERNATION AU CERN

ANTITERRORISME LES NOUVELLES ARMES

PRÉVENTION, INTERVENTION : LA SCIENCE EN RENFORT



POKÉMON GO CE N'EST QU'UN DÉBUT !

France métro: 4,30 € - D: 6,90 € - BEL: 4,70 € - ESP: 4,90 € GR: 4,90 € - DOM surf: 4,90 € - DOM avion: 6,90 € ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - PORT CONT: 4,90 € CAN: 6,50 $ CAN - MAR: 48DH - TOMS: 750 CFP TOM A: 1400 CFP - CH: 8,5 FS - TUN: 7,5 DTU



SCIENCE & VIE N°1189 - Octobre 2016 Pokémon Go Antiterrorisme Particule X Nombres premiers Antarctique Utérus artificiel Vaisseau astéroïde Automédication


Abbot Kinney
1400 S Bl

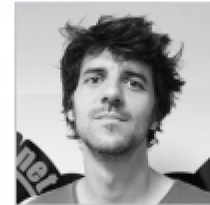


Ophélie Surcouf
o.surcouf@mondadori.fr

Le début d'un monde nouveau

Ce ne sera peut-être qu'un phénomène de mode, mais ne nous y trompons pas : le succès fulgurant de *Pokémon Go* durant ces trois mois est la première vraie manifestation de l'irruption des technologies de la réalité augmentée. La preuve grandeur nature de ce que les chercheurs savaient déjà : l'incroyable propension du cerveau d'*Homo sapiens* à plonger dans des mondes qui mêlent réel et virtuel.

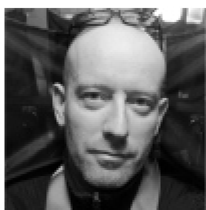




Mathieu Grousson
m.grousson@mondadori.fr

La fin d'une épopée

Reconnaissons-le tout de suite : la déception est immense. Comme la plupart des physiciens, et comme probablement la majorité des lecteurs, j'aurais préféré que la particule X ne soit pas un mirage, qu'elle soit le signe de cette 5e force ou de cette 4e dimension spatiale que j'évoquais dans notre dossier, il y a cinq mois. Las, la nature a tranché : ce qui, selon toutes probabilités, s'annonçait comme la plus fantastique découverte des quarante dernières années n'était qu'une fluctuation "diabolique" du bruit expérimental. Il faut maintenant tourner la page, mais je me souviendrai longtemps de cette épopée qui restera dans les annales.



Frédéric Lert
f.lert@mondadori.fr

La sécurité devient technologique

Face à la vague d'attentats qui frappe le pays, que faire ? La technologie est l'une des réponses. Fréquentant depuis longtemps Eurosatory, le plus grand salon consacré aux questions de défense, j'y ai constaté une tendance de fond : le transfert de technologies de l'industrie de la Défense vers celle de la sécurité. Le kaki militaire se teinte ainsi de bleu police. Et ce transfert s'accélère aujourd'hui, qu'il s'agisse d'innovations en robotique, dans les matériaux, les outils informatiques de renseignement, les armes ou les équipements de protection. Ce que confirment les différents intervenants mobilisés dans la lutte antiterroriste contactés pour ce dossier.

DR

Nouvelle
Renault **MEGANE** Estate



Élégance et modularité intuitive

Un design travaillé jusqu'aux moindres détails, combiné à une technologie issue du segment supérieur.
Nombreuses aides à la conduite, pour toujours plus de sécurité.
Écran multimédia R-LINK 2*, la véritable tour de contrôle de Nouvelle MEGANE.
Un coffre facilement configurable, avec une longueur de chargement record de 2,70 m.
Un choix parmi 5 modes de conduite grâce à Renault MULTI-SENSE*.

*De série ou en option selon version. **Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 3,5/6. Émissions CO_2 min/max (g/km) : 90/134.**
Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.



Sommaire octobre 2016 n° 1189


16

actus

DES RIVIÈRES COULENT AUSSI SUR TITAN


40

L'événement

POKÉMON GO

CE N'EST QU'UN DÉBUT !

Cet été, le jeu *Pokémon Go* a conquis la planète entière en transformant la réalité en terrain de chasse virtuel. Mais au-delà du jeu, ce succès scelle l'avènement de la "réalité augmentée". Parce que notre cerveau y croit. Et les industriels aussi. L'enquête d'Ophélie Surcouf

2016

30 millions de joueurs

206,5

1968

1992

2012

2013

L'aboutissement de 40 ans de "réalité augmentée"

48

À LA UNE

L'année qui vient de s'écouler l'a sombrement démontré : le terrorisme n'a plus un visage, mais de multiples. Qu'il s'agisse des cibles, des armes ou des individus (seuls ou en groupe), des attentats semblent désormais pouvoir se produire à tout moment, venant de n'importe où. Face à ce constat, l'antiterrorisme a forcément un coup de retard. Un retard qu'il cherche cependant à combler… grâce aux avancées de la science. Car DGSE, RAID ou GIGN se dotent actuellement de nouveaux équipements, que ce soit pour tenter de détecter les menaces en amont ou mieux intervenir sur le terrain. Des moyens inédits qui vont de pair avec une réflexion de fond sur la lutte contre ce nouveau terrorisme.

ANTITERRORISME

LES NOUVELLES ARMES

PAR FRÉDÉRIC LERT ET THOMAS CAVAILLÉ-FOL

OCTOBRE I 2016 I S&V I 49

COUVERTURE : JEAN NICHOLAS GUILLO/PHOTOPQR/LE PARISIEN/MAXPPP - 2016 ©THE POKÉMON COMPANY INTERNATIONAL


74

Nombres premiers

Ils cachent un ordre secret


78

Antarctique

La bombe à retardement

SCIENCE_VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr
Recevez *Science & Vie* chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 117.** Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart Boutique Science&Vie - Agenda Quintess est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart Boutique Science&Vie - Roadstar est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart Abonnement GEO est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart Croisière Science&Vie Dubaï est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France métropolitaine.

Actus

Evénement

A la Une

Science & découvertes

Science & techniques

Science & futur

La science & la vie

Forum

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

Les légumes des fermes urbaines trop riches en vitamines ?

En lisant votre article de juillet sur les fermes urbaines sous LED, les taux très supérieurs de certaines vitamines contenues dans les légumes issus de ce nouveau type de culture m'ont interpellée. En effet, ces dernières ne sont nécessaires qu'en faibles quantités dans l'organisme. Or, si la vitamine C est hydrosoluble, donc éliminable rapidement dans les urines en cas d'apport trop important, la vitamine A, elle, est liposoluble : elle est donc stockée par l'organisme et toxique en cas d'ingestion excessive. Les carences en vitamine A étant rares, un taux supérieur de 109 % dans une simple roquette me paraît donc peu souhaitable…

Marie Barnabé, internet



Ferme urbaine

Les LED révolutionnent les fruits et les légumes

Mieux que le soleil : en calibrant la lumière émise par des LED, les fruits et légumes poussent dans des entrepôts à vitesse grand V. Et leurs qualités sont dopées ! **Alexandra Pihon** a fait son marché.

S&V Pas d'inquiétude. D'abord parce que la "vitamine A" contenue dans cette salade est en fait du bêta-carotène, une provitamine à partir de laquelle notre organisme génère la vitamine A. Celle-ci ne peut d'ailleurs être absorbée directement qu'à partir de produits d'origine animale ou de compléments alimentaires. Si elle peut être toxique en trop grande quantité (plus de 3 000 µg/j), le bêta-carotène ne se transforme en vitamine A qu'en fonction des besoins du corps. Enfin, le taux supérieur de 109 % est à mettre en regard des recommandations du département de l'agriculture américain. Une roquette de plein champ doit respecter des critères nutritionnels minimaux, dont un taux de bêta-carotène de 119 µg/100 g. Avec 248,71 µg/100 g, la roquette sous LED est juste une roquette de qualité.

> Il manque une conclusion à votre enquête sur l'injustice scolaire (*S&V* n° 1188). Les femmes ont toujours choisi comme partenaires les plus costauds. Pas étonnant qu'ils aient du mal à rester assis en classe ! Les filles sont donc coupables de l'injustice faite aux garçons !

***Pierre Le Floc'h**, internet*



L'événement

INONDATIONS RETOUR SUR UN CAS SANS PRÉCÉDENT

Fin mai, des crues records ont noyé le bassin de la Seine. Pouvait-on les éviter ? Quels sont les dégâts ? S&V a interrogé hydrologues, météorologues et statisticiens. Ils sont unanimes : cet épisode porte la marque du réchauffement. Il va donc se reproduire… Plus fort et plus souvent.

Il faut aussi parler des fossés !

Dans votre article sur les inondations en France (*S&V* n° 1187 d'août 2016), vous ne parlez pas de l'absence d'entretien des fossés d'irrigation et de drainage. Ces systèmes, qui ont été constitués depuis des centaines d'années, ont été détruits en moins de dix ans semble-t-il suite à des directives gouvernementales – décidées par des personnes qui ne semblent rien comprendre à l'agriculture et à la nature. Si vous pouviez, encore une fois, contribuer à alerter sur cette situation ubuesque…

Sylvie Honnon, Pays de la Loire

FIN DE LA DISSECTION À L'ÉCOLE

J'ai été déçu par votre article intitulé "Une confrontation avec le réel irremplaçable" qui ressemble fort au "pâté d'alouette". Si la dissection vient d'être interdite par le ministère de l'Education c'est que, d'une part, l'opinion publique se prononce en faveur de l'animal-être sensible, les élus ayant récemment changé le code civil dans ce sens. D'autre part, l'animal-machine de Descartes est dépassé, l'éthologie ayant largement démontré que les animaux sont des êtres sensibles et intelligents même s'ils ne parlent pas. Il est donc légitime que les enseignants ne soient pas contraints de donner l'exemple du contraire. Et il est même regrettable que la dissection soit encore obligatoire à l'université, car bien des biologistes peuvent apprendre l'anatomie autrement que par la vivisection, qui pose éthiquement problème.

Pierre Jouventin (ancien directeur de recherche au CNRS), Montpellier

---

S&V Effectivement, le manque d'entretien des fossés peut amplifier une inondation. Comme certains élus et syndicats agricoles, vous accusez l'Administration. Pas si simple. Les articles 640 et 641 du code civil autorisent les propriétaires de fossés à intervenir, et il n'est demandé aucune autorisation ni déclaration pour enlever des branches d'arbre, curer sa structure – sans le sur-creuser – ou construire des rigoles. En revanche, des aménagements plus lourds, surtout en zone humide ou en présence d'espèces protégées, exigent des autorisations préalables. Autre difficulté : il semblerait que l'Administration confonde certains fossés avec des cours d'eau naturels pour lesquels les exigences sont plus sévères et donc plus difficiles à remplir.

On en reparle

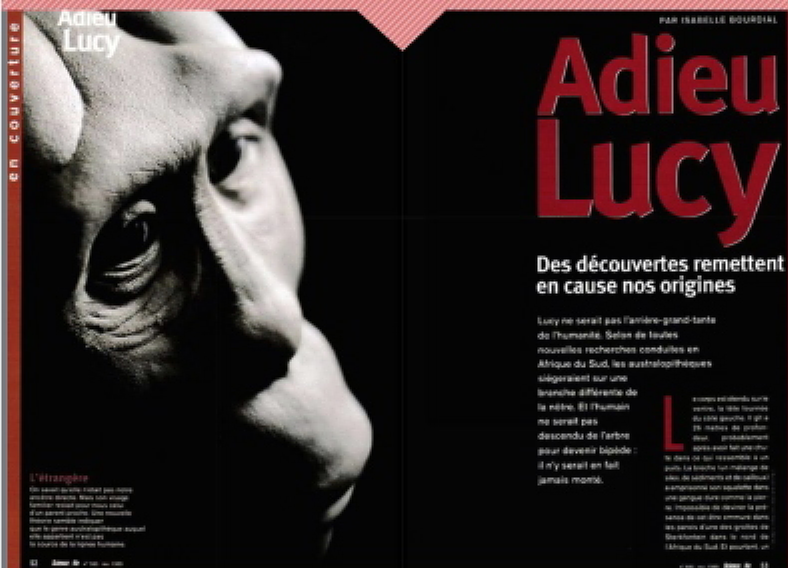


UN PREMIER MONDE À SEULEMENT QUATRE ANNÉES-LUMIÈRE

Nous l'annoncions dans notre numéro de septembre, le projet Breakthrough Starshot ("percée vers les étoiles" en français) vise, dans les décennies à venir, à atteindre une étoile avec une sonde spatiale… Un projet fou, financé pour l'instant par le milliardaire russe Iouri Milner. Cible de cette mini-sonde poussée par des lasers ? Alpha Centauri, à 4,37 années-lumière, le soleil le plus proche de nous… Au-delà des défis techniques extraordinaires que devra relever l'équipe de Breakthrough Starshot, le projet avait un gros défaut : personne ne savait s'il y avait quelque chose d'intéressant à voir dans cette région !

L'annonce, le 23 août, de la découverte d'une exoplanète tempérée, de type terrestre, autour de la voisine d'Alpha Centauri, Proxima Centauri, va probablement changer les plans de conquête. En effet, la planète Proxima b, d'une masse comprise entre 1 et 3 masses terrestres, est probablement rocheuse, comme la Terre, Vénus et Mars, et possède peut-être une atmosphère, sous laquelle pourrait couler de l'eau… De quoi faire rêver les exobiologistes, si la planète, tournant à seulement 7,5 millions de km de son étoile, n'était pas continûment bombardée par ses rayonnements UV et X. L'avantage, c'est que Proxima b est la planète la plus proche de la galaxie, ce qui raccourcirait de quelques mois le voyage de 21 ans de la sonde, puisqu'elle se trouve à 4,23 années-lumière seulement. S.B.

On en reparle


en couverture

PAR ISABELLE BOURDIAL

Adieu Lucy

Des découvertes remettent en cause nos origines

Lucy ne serait pas l'arrière-grand-tante de l'humanité. Selon de toutes nouvelles recherches conduites en Afrique du Sud, les australopithèques siégeraient sur une branche différente de la nôtre. Et l'humain ne serait pas descendu de l'arbre pour devenir bipède : il n'y serait en fait jamais monté.

LA MORT DE LUCY ENFIN ÉLUCIDÉE

Certes, on savait qu'elle était morte… Pour quelqu'un ayant vécu il y a plus de 3 millions d'années, le contraire eût été surprenant. Mais elle était et reste un mythe dans notre quête des origines : Lucy, de loin la plus célèbre des australopithèques, est la star de la paléontologie. Découverte en 1974, décrite en 1976, elle s'imposait d'emblée dans notre arbre phylogénétique comme "l'ancêtre". Avec son âge, son squelette complet à plus de 40 % (un record), sa bipédie maladroite, sa localisation en Ethiopie, elle racontait une histoire de l'homme inédite et fascinante dont nous avons régulièrement rapporté les épisodes… Qu'elle s'avère au final ne pas être notre arrière-arrière-...-grand-mère a à peine entamé sa renommée (*S&V* n° 980 de mai 1999).

Mais malgré toutes les études qui lui ont été consacrées et tout ce qu'elle nous a appris, la petite (1,10 m) *Australopithecus afarensis* avait conservé un grand mystère : celui de sa mort, restée inexpliquée… jusqu'à la publication de John Kappelman dans *Nature* au mois d'août dernier. Une tomographie de son squelette a révélé de nombreuses fractures qu'après analyse le paléobiologiste a attribuées à une chute et des tentatives, infructueuses, de se rattraper. Lucy, pourtant si alerte dans les arbres, serait donc tombée en voulant changer de branche. Un comble pour cet être qui a bouleversé la vision de notre évolution.

E.R.

Les Chinois ne sont pas si gros

Dans votre article "L'obésité explose dans les pays émergents", l'histogramme qui présente le nombre de personnes obèses par pays montre que la Chine est au premier rang, suivie par les Etats-Unis. Cependant, si on calcule en pourcentage de la population, on trouve environ 6,5 % d'obèses en Chine, 38 % aux Etats-Unis et 20 % en France. Pour moi, c'est plus parlant en pourcentages.

Peng Zhu, internet

S&V Votre remarque est très juste. Si la Chine est le pays qui compte le plus d'obèses dans le monde, elle est, en proportion, encore assez peu touchée : 6,7 % des hommes et 6,9 % des femmes y sont obèses. Mais si nous avions publié un classement des pays en fonction de la proportion de personnes obèses dans leur population, les neuf premières places auraient été occupées… par des îles du Pacifique, qui comptent chacune moins de 100 000 habitants. Or, un problème de santé publique se mesure aussi au nombre de personnes qu'il concerne. Et il est donc d'autant plus inquiétant de constater que la proportion d'obèses augmente fortement en Chine que ce pays est très fortement peuplé : si elle se poursuit, cette augmentation mettra des millions de nouvelles personnes en danger !

Une fusée fait plus de bruit que la foudre ?

Dans votre réponse sur le bruit maximal que l'on peut entendre sur Terre, vous faites allusion au décollage d'une fusée : le claquement de la foudre n'est-il pas plus bruyant ?

S. Junod Murzelen, Suisse

S&V Non. Le son d'une fusée au décollage est supérieur à celui de la foudre. Alors qu'on estime qu'un coup de tonnerre ne dépasse pas les 130 décibels, une fusée peut en envoyer entre 160 et 180 !



SCIENCE&VIE
Une publication du groupe
MONDADORI FRANCE

RÉDACTION
8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF
Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT
Grégoire Bouillier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE
Valérie Greffoz (actualités, société),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE
Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS
Elsa Abdoun, Thomas Cavaillé-Fol, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION
Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION
Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES
Valérie Samuel-Charrier (1re maquettiste),
Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE
Anne Levy (chef de service photo),
Katia Davidoff, Boris Bellanger
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION
Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO
S. Aquindo, K. Bettayeb, L. Blancard, P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois, S. Brunier, F. Cadu, T. Cavaillé-Fol, C.Chandès, G.Cirade, S.Crépon, A. Dagan, A. Debroise, S. Devos, O. Donnars, S. Fay, F. Gracci, M. Grousson, R. Ikonicoff, M. Kontente, O. Lapirot, H. Leroux, E. Leroy-Terquem, F. Lert, V. Marmont, E. Monnier, K. Nikitine, B. Perrin-Reymond, A. Pihen, C. Plantureux, A. Rambaud, H. Rambert, A. Rebmann, B. Rey, Y. Sciama, G. Siméon, M. Spée, O. Surcouf, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE
Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ
Vincent Cousin

DIFFUSION
Jean-Charles Guérault (directeur diffusion),
Siham Daassa (responsable diffusion marché)

MARKETING/INTERNATIONAL
Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon,
Michèle Guillet

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF
Valérie Camy

CONTACTS PUBLICITÉ
Virginie Commun (50 28),
Lionel Dufour (50 19)

PLANNING
Angélique Consoli (53 52),
Stéphanie Guillard (53 50)

TRAFIC
Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES
Jean-Jacques Benezech (19 83)
Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infolodon@publieurope.com – 44 (0)20 7927 9800) ;
Allemagne : Publieurope Munich (infomunich@publieurope.com 0049 89 2908150) ;
Suisse : Publieurope Lausanne (infolausanne@publieurope.com 0041 21 323 3110) ;
Espagne : Publimedia Madrid (infomadrid@publim-gestion.es 0034 91 212 83 00)

FABRICATION
Daniel Rougier,
Agnès Châtelet

FINANCE MANAGER
Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR
MONDADORI MAGAZINES FRANCE
Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Carmine Perna
ACTIONNAIRE PRINCIPAL
Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE
N° ISSN : 0036-8 369
N° DE COMMISSION PARITAIRE :
1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :
1 an, 12 numéros : 44,80 €
1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €
Dépôt légal : octobre 2016

ABONNEMENTS
Christophe Ruet (directeur),
Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Johanne Gavarini (responsable marketing direct)

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS
Par téléphone : 01 46 48 48 96
Par courrier :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,
CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9
Pour vous abonner par internet :
www.kiosquemag.com
Etats-Unis et Canada : Express Mag,
Tél. : 1 800 363-1310 (français)
et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50
mondadori-suisse@edigroup.ch.
Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304
mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS
Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS
Par courrier :
8, rue François-Ory,
92543 Montrouge
Cedex
Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr






COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC
Tel : 01 46 48 48 83
Contact@laboutiquescienceetvie.com

SHUTTERSTOCK

Dans les kiosques

SECRETS DE CATHÉDRALES



Revue d'histoire des civilisations, *Les Cahiers de Science & Vie* renouvellent notre regard sur les cathédrales, sublimes édifices hauts en couleurs. Ce numéro s'invite dans ces lieux sacrés, qui furent aussi des lieux de vie, et révèle les secrets de leurs bâtisseurs.
Les Cahiers de Science & Vie, 5,95 €

ENVIES D'ESPACE



Construire une base lunaire? Coloniser Mars? Plonger dans les océans d'Europe et de Titan? Ce hors-série détaille 10 des projets parmi les plus fascinants de ce XXIe siècle. Tous n'iront sans doute pas à leur terme. D'autres, auxquels personne n'a encore songé, s'inviteront probablement dans la course. Une chose est sûre : la conquête spatiale n'a pas fini de faire rêver les Terriens!
Hors-série de Science & Vie, 4,95 €

ALIMENTATION & BIEN-ÊTRE



Notre traditionnelle édition trimestrielle regroupant 100 questions/réponses passe à table. On y tord le cou à certaines idées reçues et on s'attarde sur quelques bonnes questions dont les réponses ne coulent pas de source. Les régimes, ça marche? Manger bio, c'est mieux? Le vin est-il bon pour la santé? Est-il vrai que le café prévient la maladie d'Alzheimer? Peut-on se passer de viande?…
Science & Vie Questions/Réponses, 4,50 €

actus



PLANÉTOLOGIE

DES RIVIÈRES COULENT AUSSI SUR TITAN

Elles serpentent entre les montagnes glacées en direction de la mer. Ces rivières de méthane ont été découvertes par Valerio Poggiali, de l'université de Rome La Sapienza. Et c'est une véritable prouesse, car Titan, la plus grande lune de Saturne, est enrobée d'une couche d'atmosphère opaque qui, vue du ciel, ne laisse rien transparaître. Heureusement, la sonde américaine *Cassini* embarque un radar qui, il y a quelques années, avait déjà permis de découvrir de gigantesques mers de méthane dans l'hémisphère Nord de cette lune. Valerio Poggiali a donc patiemment épluché les données recueillies en 2013, lors d'un passage de la sonde au-dessus d'une zone montagneuse. Et il a découvert d'étroites vallées, profondes de 220 à 330 m, tapissées d'un matériau parfaitement lisse… un liquide ! C'est la première preuve directe qu'au milieu des canyons coulent des rivières. Certaines d'entre elles sont des bras de mer, car leur surface est à la même altitude. *"D'autres sont élevées de plusieurs dizaines de mètres,* signale le chercheur, *mais, pour l'instant, il n'est pas possible d'établir si le méthane qui les emplit, issu de la récente saison des pluies, y est statique ou animé d'un courant."* S'il stagne, c'est qu'il s'agit de réservoirs de montagne. S'il coule… c'est qu'il forme un fleuve connecté à la mer, vers laquelle il charrie la glace d'eau et l'acétylène arrachés aux flancs des montagnes érodées. **B.R.**

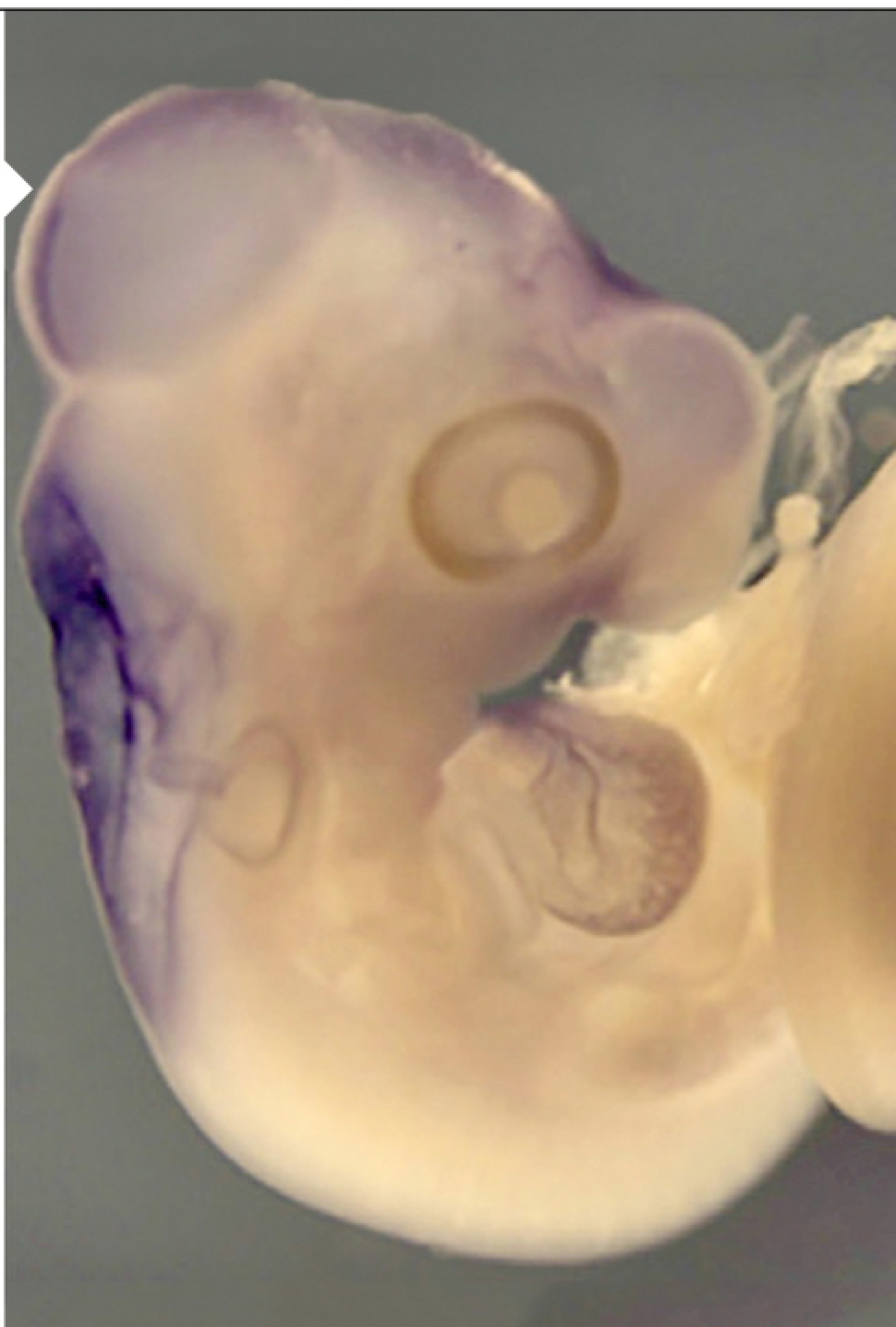
< En survolant la lune de Saturne, la sonde *Cassini* a révélé, le long des côtes montagneuses de cette mer de méthane, la présence de liquide au fond d'étroits canyons.

NASA/JPL-CALTECH/ASI

EMBRYOGENÈSE

ON SAIT ENFIN CE QUI REND LES SERPENTS SI LONGS

Pourquoi deux vertébrés comme la souris et le serpent sont-ils dotés de corps aux proportions si différentes ? La première possède un tronc court et une longue queue ; chez le second, c'est l'inverse. Des biologistes de l'Instituto Gulbenkian de Ciência, à Oeiras (Portugal), ont trouvé la cause de cette différence : le gène Oct4. En étudiant le développement embryonnaire de souris mutantes au tronc particulièrement allongé, ils ont découvert qu'Oct4 est le principal régulateur de ce tronc. Ils ont également remarqué que chez les serpents, Oct4 reste plus longtemps activé pendant leur développement que chez d'autres vertébrés. *"Pendant l'évolution des reptiles, ce gène a été replacé à côté d'une région d'ADN non codant, mais qui a cependant un rôle d'activateur, ce qui prolonge son action"*, explique Moisés Mallo, principal auteur de cette étude. Le biologiste pense qu'Oct4 régulerait rien de moins que la différenciation des cellules souches à l'origine du tronc, de la moelle épinière et du squelette. Reste à voir si prolonger son activation pourrait aider à régénérer ces tissus en cas de lésion chez l'animal, voire chez l'homme, qui possède également ce gène. Les études sont en cours. **O.D.**



1 seul photon

sur 100 milliards nous arrive du cosmos, selon des chercheurs australiens. Quand nous bronzons, 1 cent-milliardième de la lumière que nous recevons est issu de la chute de matière dans un trou noir ou de la formation de nouvelles étoiles quelque part dans l'Univers ; le reste est principalement dû au Soleil, par incidence directe ou réflexion sur divers corps du système solaire. **R.I.**

ÉVOLUTION

Ce primate choisit les fruits qui contiennent le plus d'alcool

On savait qu'on n'était pas les seuls à consommer de l'alcool car certains primates se nourrissent de fruits fermentés. Mais le loris lent (photo) et l'aye-aye, deux nectarivores, choisissent, eux, délibérément les concentrations en alcool les plus élevées ! C'est ce que révèle une étude américaine : face à cinq nectars contenant entre 0 et 5% d'éthanol, ces singes ne se sont pas fait prier, et ont même bu deux fois plus du nectar le plus alcoolisé. Ce résultat renforce l'idée que la consommation d'aliments fermentés était importante chez nos ancêtres, et qu'elle aurait participé à préparer la nôtre. **M.S.**





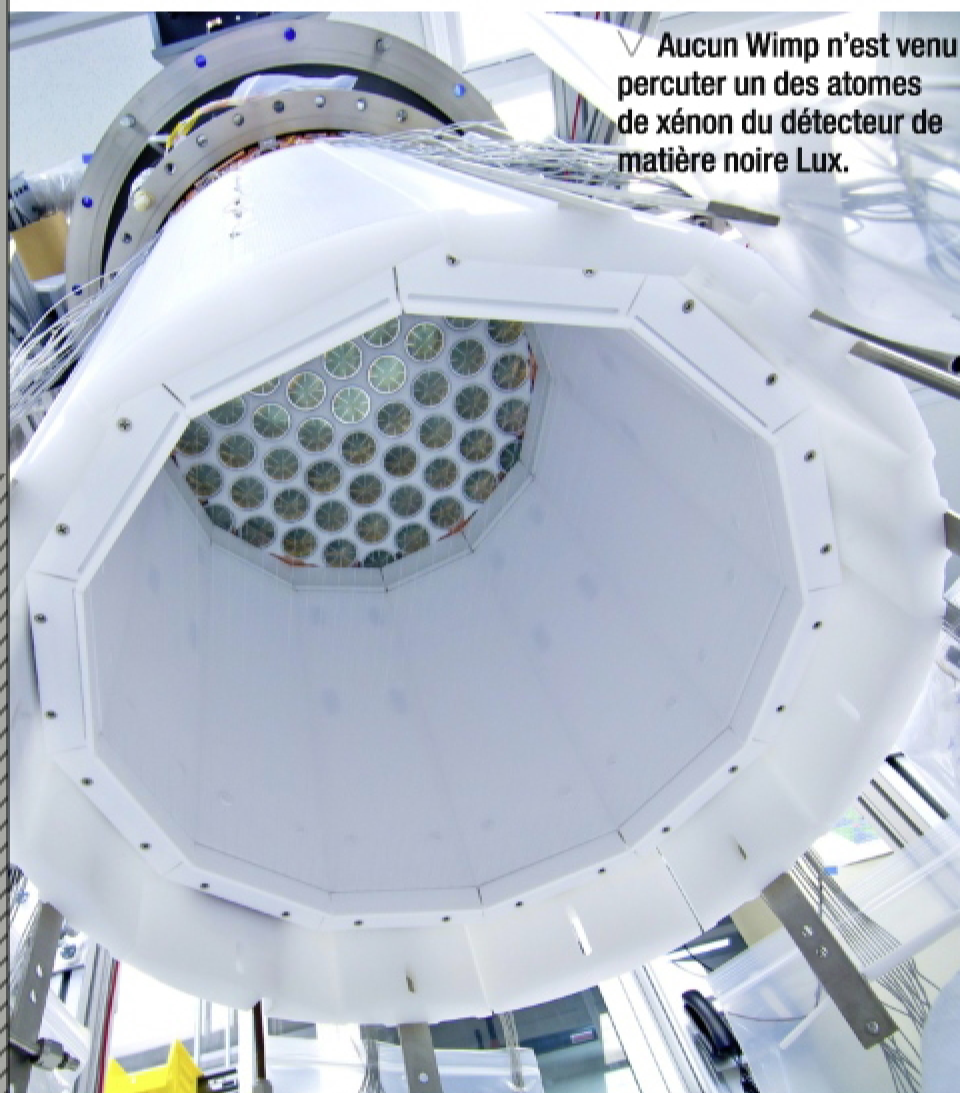
< Le gène Oct4, qui régulerait la différenciation des cellules souches du tronc, est actif plus longtemps pendant le développement embryonnaire des reptiles.



COSMOLOGIE

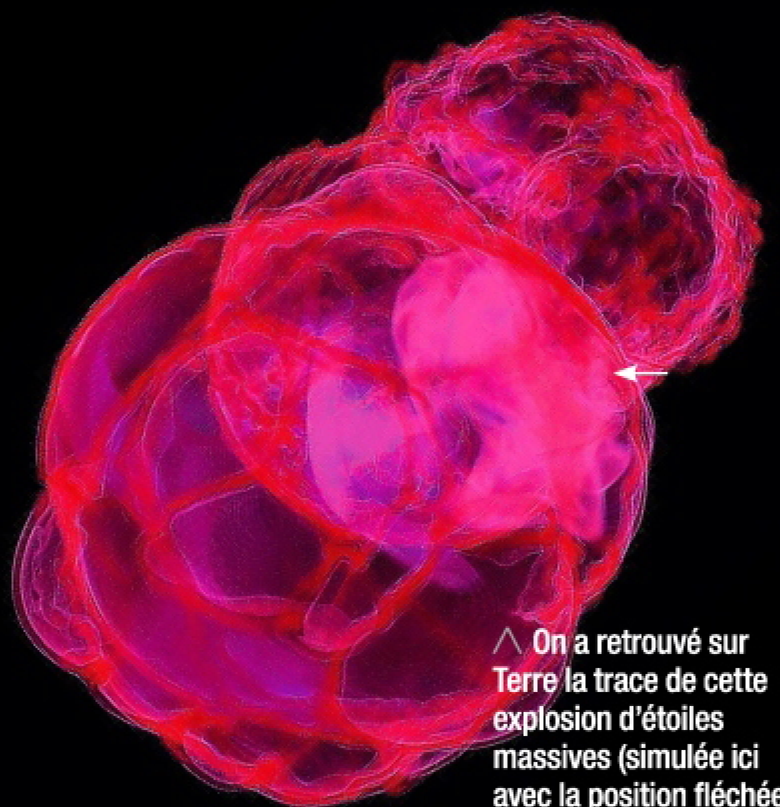
Décidément, la matière noire nous échappe toujours

Rien de rien ! Après vingt mois de mesures, le détecteur de matière noire le plus sensible au monde, Lux, n'a rien trouvé. Il recherchait des Wimps, acronyme anglais pour "particules massives interagissant faiblement". Depuis des décennies, on sait en effet que la matière dont nous sommes faits, ainsi que les planètes et les étoiles, n'est pas la seule à abonder dans l'Univers. Une mystérieuse matière invisible exerce sur elle une force gravitationnelle… La piste considérée comme la plus probable est celle des Wimps. D'où la construction de Lux, une cuve emplie de 250 kg de xénon liquide, implantée au fond d'une ancienne mine d'or du Dakota du Sud. Aucun atome de xénon n'a pourtant été heurté par un Wimp. *"Peut-être le Wimp interagit-il encore moins que prévu avec la matière ordinaire"*, suppose Aaron Manalaysay, membre de la collaboration. Il ne s'avoue pas vaincu et prépare avec ses collègues LZ, le successeur de Lux, 70 fois plus sensible, tandis qu'en Italie l'expérience xénon1T a déjà commencé, avec une cuve de xénon 10 fois plus massive. S'ils font chou blanc, la matière noire sera à chercher ailleurs… **B.R.**



∨ Aucun Wimp n'est venu percuter un des atomes de xénon du détecteur de matière noire Lux.

RITA AIRES ET AL - MATTHEW KAPUST/SANFORD UNDERGROUND RESEARCH FACILITY) - THOMAS MARENT / MINDEN PICTURES



On a retrouvé sur Terre la trace de cette explosion d'étoiles massives (simulée ici avec la position fléchée du système solaire).

ASTROPHYSIQUE

UNE SUPERNOVA A GELÉ LA TERRE IL Y A 2 MILLIONS D'ANNÉES

Un point lumineux apparaît soudain dans le ciel nocturne, si brillant qu'il éclaire autant que la pleine lune… et plonge la Terre dans une longue période d'hiver! Selon Dieter Breitschwerdt, de l'université technique de Berlin, ce fantastique événement aurait eu lieu il y a 2,3 millions d'années. Son équipe a modélisé l'apparition de la gigantesque bulle de gaz chaud qui englobe aujourd'hui le système solaire: elle aurait été formée par l'explosion de 14 à 20 étoiles massives dans les dix derniers millions d'années. Selon leurs calculs, l'avant-dernière de ces supernovæ aurait eu lieu à 270 années-lumière de la Terre, assez près pour la contaminer significativement en fer 60, un isotope radioactif du fer produit lors des supernovæ. Les échantillons qu'ils ont prélevés dans le plancher océanique affichent bien un pic de concentration en fer 60 dans la strate formée il y a 2,3 millions d'années! Or, c'est justement une époque où le climat terrestre s'est mystérieusement refroidi. Les rayons cosmiques bombardés par la supernova pourraient avoir accru la couverture nuageuse et multiplié les éclairs, faisant de la Terre un enfer glacé. **B.R.**

DR. M. SCHULREICH/TU BERLIN - J.OTTO

en bref

LES CHEVREUILS FUIENT SUR UN AXE NORD-SUD

Même quand la menace vient de l'est ou de l'ouest! Selon les chercheurs tchèques et allemands à l'origine de cette découverte, c'est pour éviter de percuter leurs congénères. Car quand il est seul, le chevreuil n'obéit plus forcément à son compas magnétique. **M.S.**

VA-T-ON BOIRE DU LAIT DE CAFARD?

Après la naissance de ses petits, la femelle cafard *Diploptera punctata* sécrète une substance hypernutritive. Des chercheurs ont découvert qu'elle est trois fois plus calorique que le lait de bufflonne, et pourrait être un substitut alimentaire de choix pour… les humains. **M.S.**

LES BALEINES À LA RESCOUSSE

115 cas documentés depuis 1951 ont montré que les baleines à bosse défendaient phoques et lions de mer attaqués par des orques. Altruisme ou force de dissuasion? **M.S.**

BIOPHYSIQUE

Le bleu de l'araignée-paon est unique

C'est un système de coloration inédit qu'une équipe internationale a découvert chez l'araignée-paon mâle d'Australie, dont les couleurs vives lui servent à séduire les femelles. Cette araignée utilise des pigments rouge, jaune et blanc, mais aussi un système optique gravé dans ses écailles, qui filtre la lumière solaire en réfléchissant un bleu et un violet très purs. Après analyse des écailles en chitine (composant des exosquelettes des insectes), les chercheurs ont découvert une architecture ultra-sophistiquée, formée de deux couches en sandwich séparées par un espace vide de moins d'un micromètre, dont les faces internes portent un réseau de filaments parallèles espacés de 0,1 µm. **R.I.**

La structure des écailles de *Marartus splendens* est encore plus sophistiquée que celle du papillon.




Sous le tombeau du roi Pakal, se dissimule un réseau d'eau souterrain sophistiqué.

ÉVOLUTION

Les mammifères se sont imposés dès les dinosaures

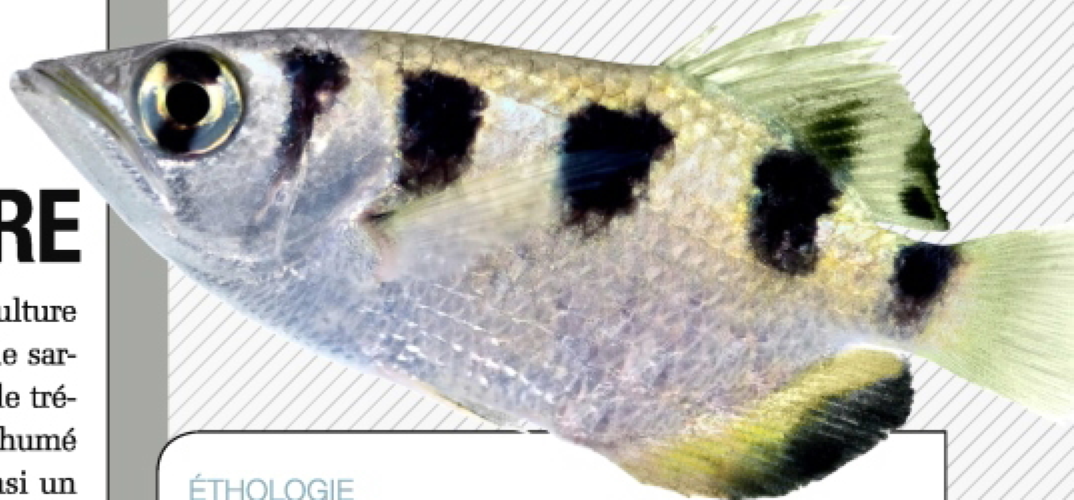
Les mammifères n'ont pas attendu la disparition des dinosaures, il y a 66 millions d'années, pour se diversifier massivement. Selon David Grossnickle (université de Chicago), les mammifères thériens, qui ont donné naissance aux placentaires et aux marsupiaux, ont commencé à prospérer 10 à 20 millions d'années avant l'extinction de masse de la crise du Crétacé-Tertiaire. L'analyse des dents de centaines de fossiles révèle en effet une diversification du régime alimentaire sur cette période. **E.L.-T.**

ARCHÉOLOGIE

LA PYRAMIDE DE PAKAL N'EN FINIT PAS DE SURPRENDRE

Tout a commencé, en 2012, par des fouilles au pied de l'escalier de la pyramide des Inscriptions du roi maya Pakal, au Mexique, et par d'inquiétants relevés géoradar suggérant la présence de failles susceptibles de déstabiliser l'édifice emblématique de la cité de Palenque (*Lakam'Ha* en maya, ce qui signifie "lieu des grandes eaux"). L'équipe d'Arnoldo Gonzàlez, directeur du projet archéologique du site, vient en fait d'y dévoiler l'existence d'un réseau complexe de canaux de pierre courant jusque sous la pyramide : une surprise de plus pour ce temple qui, le premier, en 1952, avait révélé la présence d'une sépulture royale. A 17 m sous le sarcophage de pierre et le trésor de jade de Pakal, inhumé en 683, se cachait ainsi un tunnel où file toujours l'eau d'une source, peut-être à l'origine de l'implantation de la pyramide à cet endroit. La présence de ces canaux est d'abord importante d'un point de vue physique, car ils permettent le drainage des pluies et des sources ; symbolique ensuite, puisque l'eau est liée à l'inframonde où vont les défunts… Les archéologues espèrent poursuivre leur exploration des trois niveaux de tunnels, pour préciser leur extension totale et leurs fonctions. **E.R.**

JAN WLODARCZYK/AGEFOTOSTOCK - SHUTTERSTOCK



ÉTHOLOGIE

Voici un poisson capable de reconnaître des visages humains

Le poisson-archer a plus d'une corde à son arc. Connu pour cracher sur ses proies, il saurait également… nous reconnaître et distinguer nos visages. Bref, il est physionomiste ! Un talent déjà décelé chez certains oiseaux, mais pas encore chez les poissons. Dirigée par la chercheuse Cait Newport, une équipe de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) a entraîné huit spécimens à cracher sur les photos de certains visages humains et à en épargner d'autres. A l'issue de l'apprentissage, ils ont, en moyenne, visé juste dans plus de 80 % des cas ! Quelques sessions seulement leur ont suffi pour différencier les photos en couleur, mais il leur a fallu un peu plus de temps pour distinguer les portraits en noir et blanc. **O.S.**



L'analyse du génome de 51 fossiles (– 45 000 à – 7 000) a éclairci l'histoire de leur métissage.

PALÉONTOLOGIE

L'ADN DES PREMIERS EUROPÉENS A PARLÉ

Les premiers hommes modernes, arrivés en Europe il y a environ 45 000 ans, n'ont pas eu de contacts avec les autres populations humaines avant la fin du dernier maximum glaciaire, vers – 14 000. C'est ce que révèle une vaste étude internationale qui a séquencé le génome de fossiles de 51 individus ayant vécu entre – 45 000 et – 7 000. *"L'Europe n'était à l'époque guère accueillante*, explique Isabelle Crevecoeur (université de Bordeaux). *Pendant la dernière grande glaciation, entre – 25 000 et – 19 000, la calotte glaciaire s'avançait jusqu'au milieu de l'actuel territoire français, et les Alpes constituaient une barrière difficile à franchir."* Ce n'est qu'à la fin de cette période glaciaire que les génomes européens ont intégré des séquences apportées par des populations venues du Proche-Orient. **A.D.**

NEUROLOGIE

Les synesthètes voient aussi la langue des signes en couleurs

"A" noir, "e" blanc, "i" rouge... Environ 4 % de la population associe les lettres à des couleurs, des goûts ou des textures. Un phénomène appelé "synesthésie". Des psychologues et neuroscientifiques ont eu l'idée d'interroger une cinquantaine de synesthètes maîtrisant l'alphabet de la langue des signes. Or, ils étaient quatre à voir aussi les lettres formées par les mains en couleurs ! Ces associations se font donc plutôt au niveau des représentations symboliques que des perceptions primaires. **A.D.**

CNRS. - S.AQUINDO

Ça reste à prouver

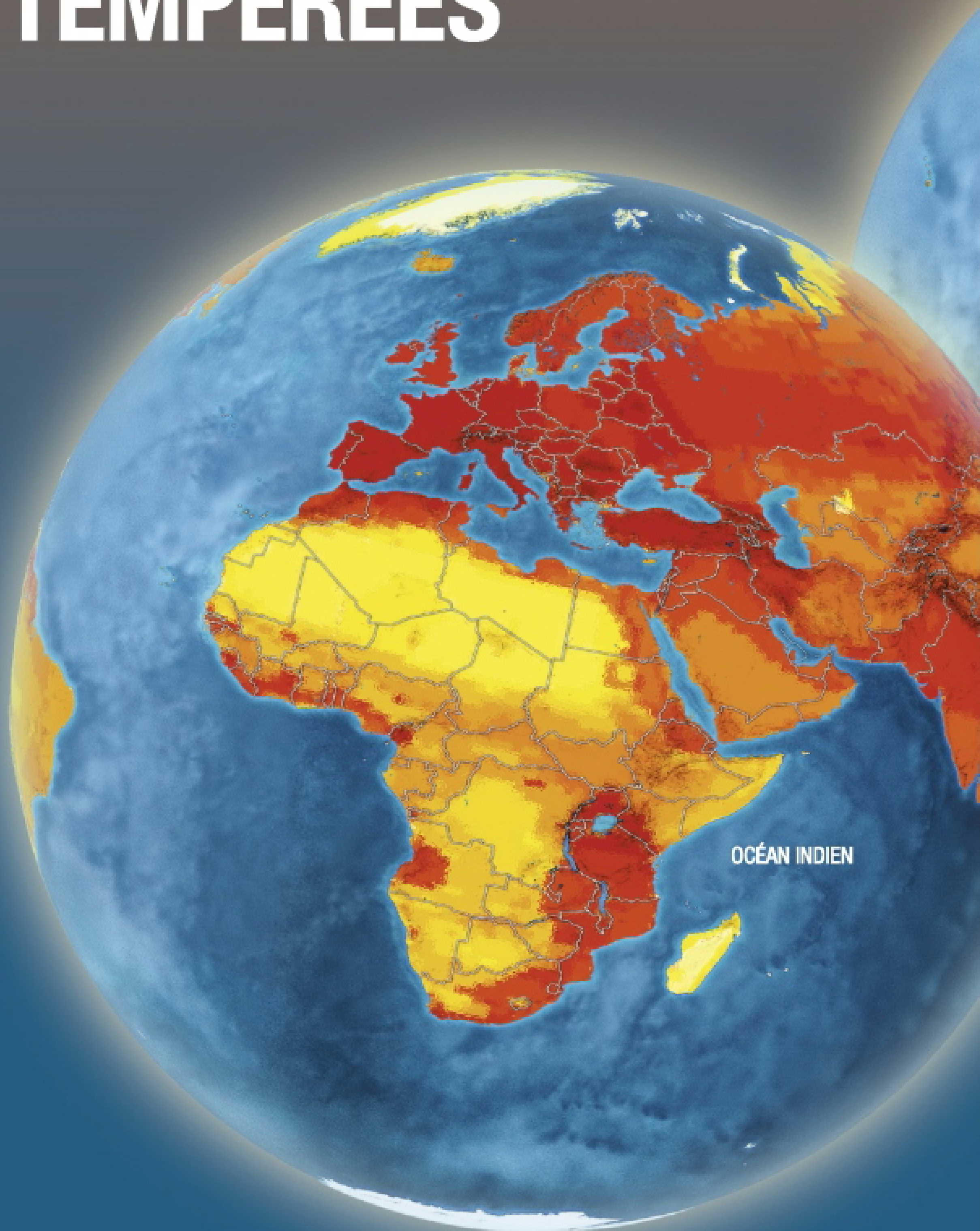


L'orgasme féminin aurait été crucial pour l'ovulation

A quoi sert l'orgasme féminin ? Une hypothèse voulait qu'il incite les femmes à se reproduire, un peu comme l'orgasme masculin. Or, si celui-ci est crucial pour l'éjaculation, une femme peut tomber enceinte sans orgasme. Deux biologistes américains avancent donc une nouvelle thèse : selon eux, à l'origine, l'orgasme féminin aurait bien joué un rôle crucial dans la reproduction en déclenchant l'ovulation elle-même, avant de perdre cette fonction. Ils ont donc comparé les mécanismes d'ovulation et les liens de parenté de 41 mammifères à "ovulation spontanée", c'est-à-dire non provoquée par l'accouplement (humain, chimpanzé, rat...), et à "ovulation induite" (lapin, chat...). Résultat : les pics hormonaux déclenchant l'ovulation spontanée de la femme étaient similaires à ceux survenant lors de l'accouplement des espèces à ovulation induite. D'où l'idée que chez nos très lointains ancêtres, l'ovulation était déclenchée par des pics hormonaux liés à l'orgasme. *"Intéressant mais difficile à démontrer. Il faudrait vérifier que lors de la charge hormonale provoquant l'ovulation, les animaux ressentent un orgasme... qui ne peut de toute façon être techniquement quantifié"*, commente Pierre-Henri Guyon, au Muséum national d'histoire naturelle. Le débat reste donc ouvert. **K.B.**

LES MALADIES D'ORIGINE ANIMALE MENACENT AUSSI LES ZONES TEMPÉRÉES

Comment prévoir où frappera la prochaine zoonose ? La question est importante car la plupart des infections qui touchent l'homme sont d'origine animale : virus d'Ebola transmis par la chauve-souris, virus de la pneumonie MERS-CoV transmis par le chameau, du sida par le chimpanzé et le mangabey… La première cartographie des zoonoses véhiculé par les mammifères (la majorité) offre aux épidémiologistes un outil indispensable. Réalisée par Barbara Han (Institut Cary, New York) et ses collègues de l'université de Géorgie, cette carte révèle *"à quel point les zoonoses sont répandues sur le globe,* remarque l'écologue. *Nous nous attendions à ce qu'elles soient concentrées là où la biodiversité est la plus élevée, c'est-à-dire sous les tropiques… Or, elles le sont aussi en Europe, et jusque dans les zones subarctiques !"* Un petit nombre d'espèces peut donc transmettre beaucoup de maladies, notamment là où les élevages sont nombreux. Mais si on estime que les ongulés (vaches, cochons…) sont la source la plus probable de zoonoses, tous les réservoirs de pathogènes chez les animaux peuvent nous contaminer. Surtout dans les zones les plus peuplées. Un phénomène accru par l'urbanisation croissante, la mondialisation et le réchauffement climatique. **F.G.**



C'est dans les régions les plus peuplées que les zoonoses sont les plus nombreuses

(Nombre de maladies que les mammifères sont susceptibles de transmettre à l'homme)

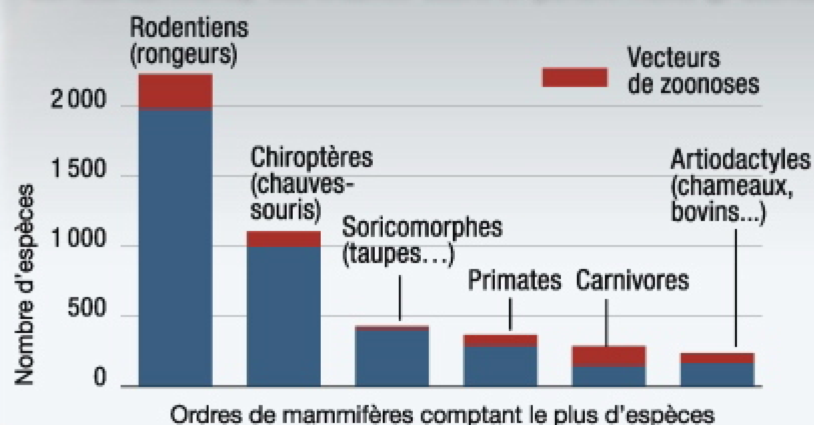


OCÉAN PACIFIQUE

OCÉAN ATLANTIQUE

Les rongeurs sont les mammifères qui comptent le plus d'espèces porteuses de pathogènes

Parmi les 27 ordres de mammifères, les plus riches en espèces sont aussi ceux qui abritent la plus grande diversité de zoonoses (à l'exception des carnivores). Les chauves-souris en portent moins qu'attendu.



SOURCES : HAN ET AL., TRENDS IN PARASITOLOGY, 2016

85

C'est le nombre de zoonoses dont les rongeurs sont porteurs.

21

ordres de mammifères sur 27 peuvent nous transmettre des maladies.

49 %

des carnivores sont porteurs de pathogènes transmissibles.

B.BOURGEOIS - M.KONTENTE



BIOLOGIE DE LA CONSERVATION

LA NOUVELLE-ZÉLANDE VEUT ÉRADIQUER SES PRÉDATEURS

Les protecteurs de l'environnement néo-zélandais viennent d'obtenir le feu vert de leur gouvernement pour une extermination animale d'une ampleur inédite. Il va s'agir d'éliminer, d'ici à 2050 et moyennant des dizaines de millions de dollars, tous les prédateurs terrestres du territoire, qui correspond environ au tiers de la superficie de la France. La faune néo-zélandaise, isolée géographiquement, ne comptait aucun mammifère prédateur avant que les colons ne les introduisent, à commencer par le plus destructeur d'entre eux, le rat brun, auquel s'ajoutent, entre autres, l'hermine, le putois et l'opossum. Ce chantier pharaonique de protection de la faune autochtone (notamment les kiwis) peut aujourd'hui être envisagé grâce *"aux progrès réalisés dans les technologies de contrôle des ravageurs,* explique Wayne Linklater, directeur du Centre pour la biodiversité et l'écologie de la restauration à l'université Victoria de Wellington, *notamment sur le front des pièges, des appâts et des poisons, et de leur mise en œuvre à distance"*. Une centaine d'îles ont déjà été traitées, ne restent "que" les zones urbaines et agricoles des deux îles principales. Un défi… **Y.S.**



OCÉANOGRAPHIE

Le poisson-lion menace le littoral

Le réchauffement du climat et le creusement du canal de Suez ont fait de la Méditerranée une mer sensible aux invasions biologiques. Si de nombreuses espèces tropicales, notamment des crustacés et des mollusques, s'y sont déjà établies, le dernier arrivant en date préoccupe les scientifiques. *Pterois miles,* le poisson-lion, appartient en effet à un genre réputé pour sa gloutonnerie et l'extrême toxicité de ses épines venimeuses, qui le préservent de la plupart des prédateurs. Selon une publication récente de l'Union interna-

< Comme les rongeurs, le putois à pieds noirs, introduit par les colons, nuit aux espèces endémiques.

méditerranéen

tionale pour la Conservation de la nature, ce poisson aurait déjà colonisé une partie du littoral chypriote. Ses œufs pouvant voyager au gré des courants sur de longues distances, les chercheurs appellent à enrayer l'invasion dans les plus brefs délais. **Y.S.**

en bref

LE CLONAGE NE FAIT PAS VIEILLIR PLUS VITE

La découverte précoce d'ostéoporose chez Dolly, la brebis clonée il y a 20 ans, faisait craindre un vieillissement accéléré dû au clonage. Il n'en est rien. À Nottingham, treize brebis clonées par les chercheurs de l'université ont vécu huit ans en bonne santé.

LE SINGE VERT SENSIBLE AUX BACTÉRIES HUMAINES

Les virus circulent entre singes et humains. Les bactéries aussi… Une équipe de microbiologistes vient de découvrir qu'une primo-infection au staphylocoque doré a touché les singes verts d'Afrique il y a déjà 2700 ans.

HARO SUR LE PLASTIQUE

Après l'interdiction des sacs plastique à usage unique, les cosmétiques contenant des microbilles et les Coton-Tige en plastique seront bannis en 2018 et 2020.

CHIMIE ATMOSPHÉRIQUE

Paris est plus pollué que São Paulo et New York !

Les comparaisons de la pollution de l'air à l'échelle internationale restent compliquées en raison du grand nombre de contaminants existants et de leur mode de prise en compte par chaque Etat. Cependant, le magazine *The Economist* s'est livré à la comparaison directe de 15 grandes villes du monde, à partir des chiffres d'une société française, Plume Labs, qui commercialise une application de prévision de la pollution. Les résultats sont saisissants. Si Séoul et Hongkong apparaissent sans surprise parmi les villes les plus polluées pour les trois principaux contaminants choisis (ozone, dioxyde d'azote et particules fines), elles sont talonnées… par Paris, suivi de près par Londres, puis par São Paulo et New York ! Explication de cette spécificité ? La diésélisation extrême du parc automobile français, qui le rend particulièrement émetteur, à la fois en dioxyde d'azote et en particules fines, comparé à celui des Etats-Unis où le diesel est marginal. Les chiffres de Plume Labs révèlent en outre d'importantes fluctuations horaires de la pollution, que les agences spécialisées mentionnent rarement. Ainsi, un Parisien qui se rend à son travail à 9 heures et le quitte à 18 heures pourrait réduire de 28 % son exposition au dioxyde d'azote en partant et en revenant deux heures plus tôt. **Y.S.**

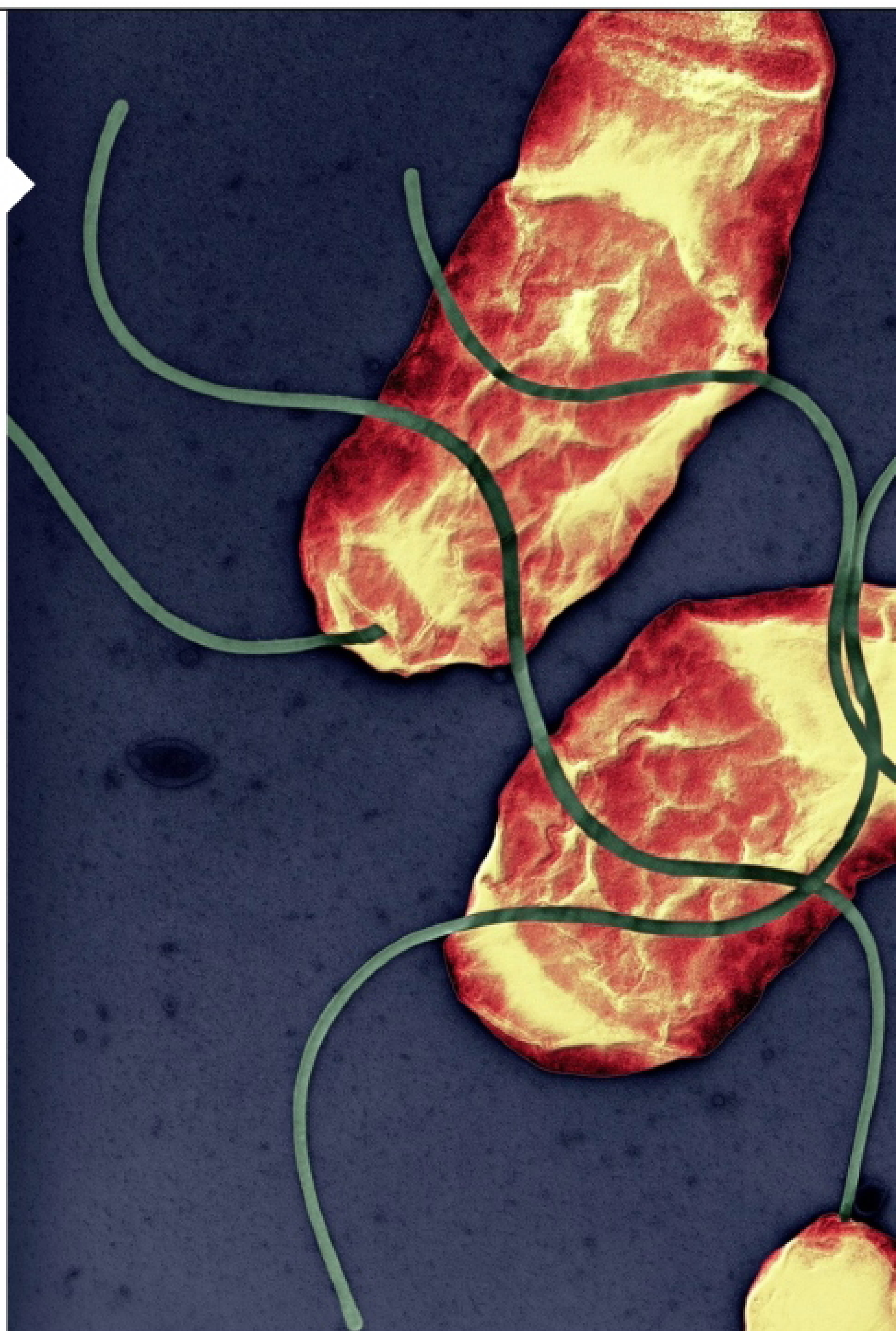


△ Principal responsable de la pollution : le diesel, surreprésenté en France.

SUMIO HARADA/MINDEN PICTURES - CHARLES PLATIAU/REUTERS - REINHARD DIRSCHE /BIOSPHOTO

ÉPIDÉMIOLOGIE

LE RÉCHAUFFEMENT FAVORISE D'ORES ET DÉJÀ LES INFECTIONS



Cette fois, cela ne fait plus de doute : l'augmentation observée aux Etats-Unis et en Europe du nombre d'infections aux bactéries de la famille *Vibrio*, notamment responsables du choléra et d'intoxications alimentaires parfois mortelles, est bien due au réchauffement climatique. Pour le prouver, des microbiologistes américains ont d'abord mesuré l'abondance de ces bactéries marines, auxquelles l'humain s'expose via la baignade et la consommation de fruits de mer, dans des échantillons de plancton collectés entre 1958 et 2011 dans neuf zones de l'Atlantique Nord. Ils ont ensuite comparé leurs résultats avec la température des eaux de surface ainsi que le nombre d'infections recensées aux mêmes périodes. L'analyse a révélé que ces trois phénomènes étaient fortement corrélés : à mesure que la température de l'eau augmente, le nombre de bactéries *Vibrio* grandit, et l'Europe comme l'Amérique du Nord recensent un nombre croissant de malades. La hausse du nombre des cas est particulièrement évidente lors des pics de température, comme celui qui a touché la mer Baltique à l'été 2014 : 72 infections à *Vibrio* ont alors été enregistrées en Finlande et en Suède, contre 12 recensées en France la même année. Des chiffres qui pourraient grimper à l'avenir… **K.B.**

REPRODUCTION

Un virus pourrait expliquer certaines infertilités

Alors que 15 % des cas d'infertilité restent inexpliqués, des chercheurs italiens ont peut-être identifié la cause de certains d'entre eux. En analysant la muqueuse utérine de 30 femmes n'ayant pas réussi à concevoir depuis trois ans en moyenne, ils ont détecté la présence d'ADN d'un virus de l'herpès chez 43 % d'entre elles. A contrario, les muqueuses des 36 femmes ayant déjà eu au moins un enfant auxquelles ils ont comparé leurs données n'en portaient pas de trace décelable. Avant de conclure à la responsabilité du virus dans certains cas d'infertilité, il faudra néanmoins procéder à de nombreuses autres analyses. **B.P.-R.**

PHARMACOLOGIE

La trithérapie allégée se profile

Un essai mené dans 17 centres cliniques français sur cent séropositifs présentant, grâce au traitement classique du sida, une charge virale indétectable depuis quatre ans, a démontré que la prise quotidienne de trois médicaments n'est pas toujours indispensable au contrôle du VIH. Durant 48 semaines, les patients ont suivi un traitement allégé consistant en une prise deux fois moins fréquente de médicaments, quatre jours par semaine. Résultat : seuls trois patients ont vu leur charge virale augmenter. Ces retours d'expérience prometteurs laissent espérer de moindres effets secondaires et des économies pour la sécurité sociale. **K.B.**

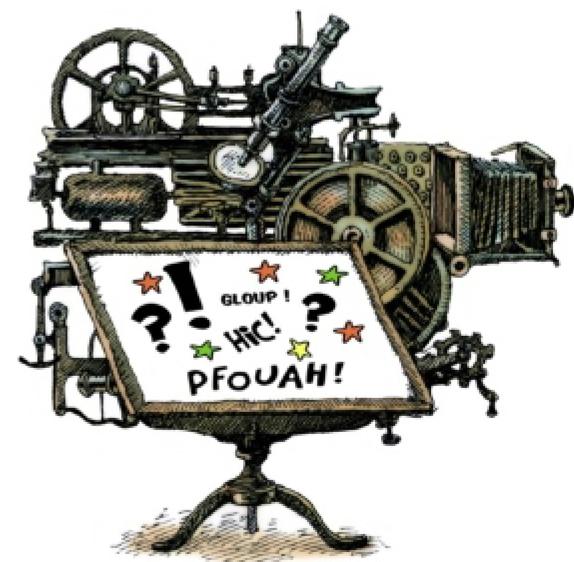


< Le nombre de bactéries du genre *Vibrio* (à l'origine notamment du choléra) est corrélé à la température de surface des océans.



^ Les essais montrent que le traitement n'aurait pas besoin d'être quotidien.

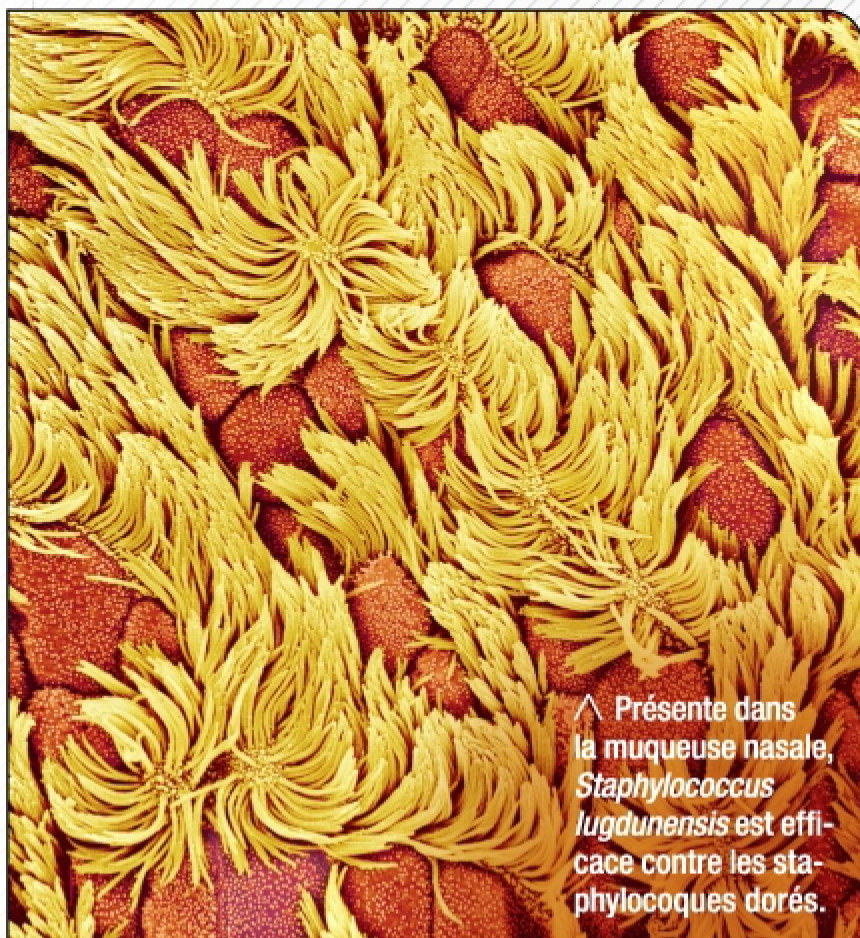
Drôle de science



Etre un héros de BD ne protège pas des méfaits de l'alcool

Un an après avoir décortiqué le dossier médical de Tintin (voir *S&V* n° 1175, p. 28), des médecins français ont appliqué leurs stéthoscopes sur son compagnon d'infortune sanitaire : Archibald Haddock, plus connu des lecteurs de Hergé sous son grade de capitaine. Archibald, qui n'a rien d'un marin d'eau douce, prouve que l'air du grand large ne protège pas de tous les maux. Si Tintin a beaucoup souffert avec pas moins de 244 accidents en 23 aventures, son acolyte le surpasse avec 249 "pépins" de santé en seulement 15 albums ! Il faut dire que le capitaine Haddock cherche la difficulté : la moitié de ses déboires sont provoqués par sa maladresse naturelle, en cause dans 51 chutes et chocs, mais surtout par son amour immodéré du whisky. Un penchant autodestructeur responsable de 32 de ses soucis de santé, parmi lesquels six cas d'"effet antabuse" (ensemble de symptômes provoqués par l'absorption conjointe d'alcool et de substances médicamenteuses), deux occurrences de *delirium tremens* (état pathologique lié au sevrage de l'alcool) et une cirrhose du foie. Finalement, c'est un miracle que ce coloré personnage soit encore en vie après trente-cinq ans d'aventures ! **C.P.**

EYE OF SCIENCE/SPL/COSMOS - THOR SWIFT/NYT-REDUX-REA


Présente dans la muqueuse nasale, *Staphylococcus lugdunensis* est efficace contre les staphylocoques dorés.

BACTÉRIOLOGIE

LE NEZ RECÈLE UN ANTIBIOTIQUE QUI FAIT DÉJÀ RÊVER

Une équipe de chercheurs allemands a récemment eu du nez ! En analysant les bactéries présentes dans les sécrétions nasales de 187 individus, ils ont découvert la source d'un antibiotique efficace contre le staphylocoque doré. Cette bactérie résistante aux antibiotiques fait près de 2 000 morts par an en France. Mais elle est aussi présente dans la cavité nasale de nombreux individus sans pour autant provoquer d'infection… Or, les chercheurs ont découvert qu'une de ses cousines – *Staphylococcus lugdunensis* – était parfois capable de prendre sa place dans nos muqueuses. Ils ont donc analysé les molécules produites par *S. lugdunensis* en espérant y trouver l'arme qui leur permette de déloger le staphylocoque doré. Ils ont alors constaté que l'une d'elles, baptisée “lugdunine”, s'avérait très efficace : appliquée sur la peau de souris infectées par le staphylocoque doré, sa présence réduisait la plupart du temps très fortement le nombre de bactéries, et les éradiquait totalement dans 40 % des cas. **C.P.**

SUSUMU NISHINAGA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS - ADAM REITZEL, COURTESY OF JOHN R. FINNERTY AND MBL

en bref

LA DENGUE COMBATTUE PAR… DES MOUSTIQUES

À Piracicaba, au Brésil, le largage de moustiques stériles *Aedes* a divisé par dix le nombre de cas de dengue en un an. Dans d'autres zones, traitées exclusivement par des méthodes de prévention classiques, il a diminué de moitié. **E.A.**

LES FRANÇAIS BOIVENT MOINS SUCRÉ

En 2015, un Français a bu en moyenne 50,9 l de boissons sucrées, hors jus de fruits, contre 53,6 l en 2010. Il s'agit de l'un des taux les plus bas des pays occidentaux. **E.A.**

LA TUBERCULOSE SERAIT NÉE AVEC LE FEU

En favorisant le regroupement d'individus et en provoquant des irritations des poumons par la fumée, la maîtrise du feu aurait, selon des chercheurs australiens, favorisé l'adaptation de la bactérie responsable de la tuberculose à l'espèce humaine. **B.P.-R**

OTOLOGIE

L'anémone ouvre une piste contre la surdité

Des chercheurs américains ont exploité la capacité régénératrice des anémones pour réparer les cils vibratiles de l'oreille humaine endommagés par le vieillissement ou la surexposition au bruit. Comme les humains, ces animaux marins possèdent en effet des cils vibratiles. Mais à la différence des hommes, ces derniers peuvent être réparés par des molécules produites par l'anémone. En exposant les cils vibratiles de souris préalablement endommagés à ces molécules, les chercheurs sont parvenus à leur rendre leur morphologie et, par conséquent, un fonctionnement normal. **B.P.-R.**


L'anémone possède des molécules capables de réparer ses cils vibratiles.

NANOTECHNOLOGIES

LA MÉMOIRE ATOMIQUE RÉVOLUTIONNE LE DISQUE DUR

Cette mémoire atomique est 500 fois plus dense que les disques durs actuels! Capable de stocker 1 kilo-octet de données, elle tient sur une plaquette en cuivre de 100 nanomètres de côté seulement. Chaque bit y est encodé sur un atome de chlore selon un principe de commutateur: en position haute, l'atome code 0; en position basse, 1. *"C'est de loin la plus grande mémoire atomique réalisée à ce jour"*, s'enthousiasme son concepteur, Floris Kalff, de l'université de Delft, aux Pays-Bas. Il détaille les raisons de ce succès: *"D'abord, les atomes de chlore déposés sur le substrat de cuivre par évaporation sont d'une grande stabilité. Ensuite, l'automatisation du microscope à effet tunnel permet d'ordonner ces atomes."* Les chercheurs ont développé un programme qui guide automatiquement la pointe ultrafine du microscope pour "pousser" les atomes, et donc encoder l'information. Des disques durs basés sur ce principe permettraient de faire un véritable bond dans la miniaturisation des composants informatiques. Reste que cette mémoire potentiellement révolutionnaire doit être refroidie par de l'azote liquide… à –196 °C. Son développement passera donc par la mise au point de matériaux stables à température ambiante. **H.L.**

La mémoire atomique de 1 kilo-octet tient sur une plaquette mille fois moins large qu'un cheveu!

ÉNERGIE

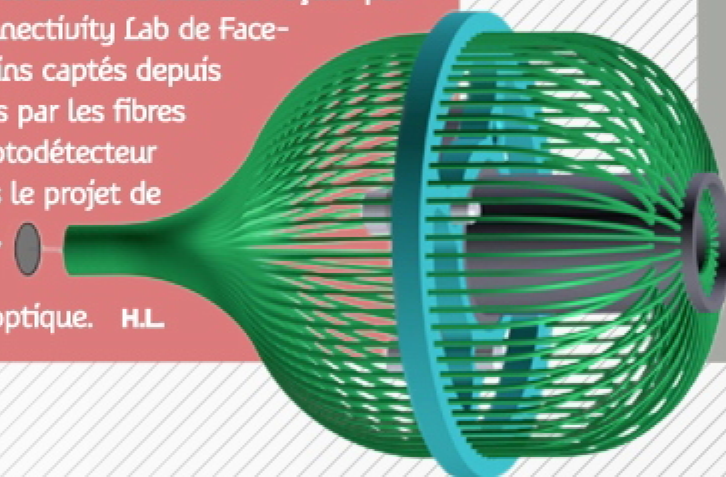
Du papier rend la pile à combustible plus efficace

L'université de l'Iowa a présenté une pile à combustible microbienne utilisant du papier. Elle a produit un courant continu (1,3 μW, 52,25 μA) pendant cinq jours. L'intérêt du papier? Sa capillarité! Il favorise, de l'anode vers la cathode, l'écoulement d'une solution contenant des bactéries et du ferricyanure de potassium. *"Toute la puissance est exploitée car aucune électricité n'est utilisée pour l'écoulement"*, assure Nastaran Hashemi, membre de l'équipe. Reste à obtenir des tensions et des débits constants. **E.T.-A.**

TÉLÉCOMMUNICATIONS

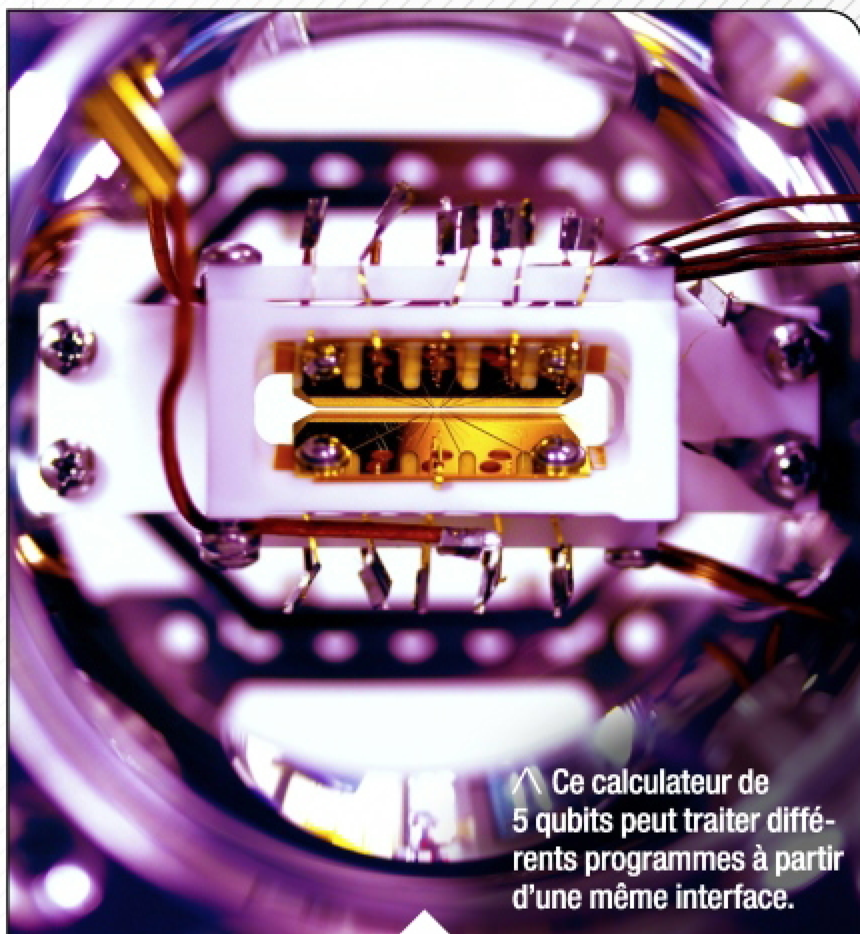
Un capteur laser dope l'internet sans fil

Deux gigabits par seconde (Gbps): c'est le débit de données reçues par le capteur laser mis au point par le Connectivity Lab de Facebook. Les rayons longue distance ultrafins captés depuis n'importe quelle direction sont redirigés par les fibres optiques dont il est couvert vers le photodétecteur placé en son centre. Un pas décisif vers le projet de délivrer internet dans les zones isolées, *via* des drones, avec un débit de 10 Gbps comparable à celui de la fibre optique. **H.L.**



Ce capteur laser de 126 cm² permettra l'accès à internet dans les zones isolées.

F. E. KALFF; M. P. REBERGEN; E. FAHRENFORT; J. GIROVSKY; R. TOSKOVIC; J. L. LADO; J. FERNÁNDEZ-ROSSIER; A. F. OTTE - T. PEYRONEL ET AL.


Ce calculateur de 5 qubits peut traiter différents programmes à partir d'une même interface.

INFORMATIQUE

VOICI L'ORDINATEUR QUANTIQUE QUI SE REPROGRAMME

L'ordinateur quantique devient reprogrammable ! Développé par les physiciens de l'université du Maryland (Etats-Unis), ce calculateur quantique de 5 qubits – des bits quantiques capables d'accéder simultanément à deux états d'énergie, 0 et 1, contrairement aux bits classiques qui ne peuvent prendre qu'une seule des deux valeurs – présente une architecture logicielle qui permet de traiter différents programmes à partir d'une même interface utilisateur. Le principe : il s'agit de piéger les atomes au sein d'un champ magnétique, puis de les contrôler un par un à l'aide d'impulsions laser pour les positionner dans les états requis pour un calcul donné. *"Grâce au contrôle individuel des qubits par laser et à l'utilisation d'ions d'ytterbium* [un métal rare]*, très stables dans le temps, nous pouvons moduler les portes quantiques* [équivalent des portes logiques : "et", "ou"… nécessaires à la résolution des programmes] *et rendre le système reprogrammable avec une fiabilité de calcul de 98 %"*, explique Shantanu Debnath, premier auteur de l'étude. **A.P.**

SHANTANU DEBNATH AND EMILY EDWARDS - CHRISTIAN HUBICKI/GEORGIA TECH

en bref

DES BACTÉRIES RENDENT LE CIMENT HYDROFUGE

En se liant, les bactéries *Bacillus subtilis* forment des biofilms aussi imperméables que du Téflon. D'où l'idée de chercheurs munichois de les incorporer à du mortier pour créer un mélange résistant aux infiltrations. **A.V.**

CHANGER LE GAZON EN HYDROGÈNE

Une équipe britannique a réussi à convertir la cellulose des brins d'herbe en hydrogène grâce à la lumière du soleil et un catalyseur. Le potentiel de l'hydrogène est énorme dans le domaine des énergies vertes : haute teneur en énergie, abondance et combustion sans effet de serre. **B.P.-R.**

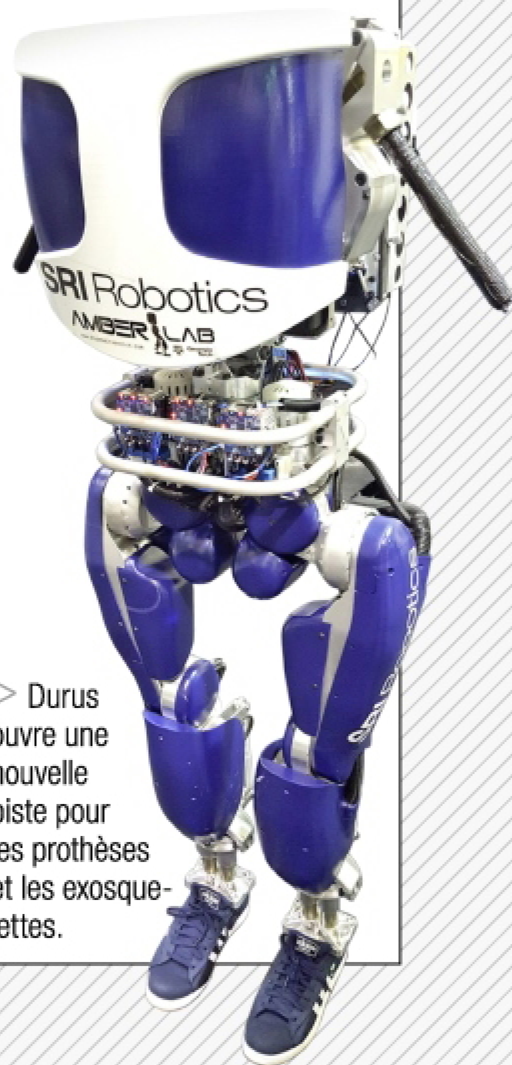
LE CINÉMA 3D SANS LUNETTES

Le MIT et l'Institut Weizmann ont conçu un écran de cinéma 3D à regarder sans lunettes : selon leur position dans la salle, les spectateurs ne verront pas les mêmes pixels de l'image projetée… d'où l'effet de relief. **S.F.**

ROBOTIQUE

Un robot marche enfin vraiment comme nous

Durus, robot humanoïde, chausse du 48 et bénéficie d'une souplesse de marche digne des humains. Conçu par les chercheurs du Georgia Tech, à Atlanta (Etats-Unis), et piloté à distance, il détrône ses prédécesseurs lourdauds aux pieds plats. Son secret ? Des ressorts reliant les pieds aux jambes, en guise de tendons, associés à un fin contrôle algorithmique des multiples contacts au sol, à l'image du duo plante de pied-orteils. De quoi optimiser les futures prothèses et exosquelettes. **A.P.**



Durus ouvre une nouvelle piste pour les prothèses et les exosquelettes.

L'HABITAT : UN RÔLE CLÉ **DANS LA SANTÉ DES FRANÇAIS**

Qu'entendons-nous par habitat sain et en quoi a-t-il une incidence sur notre santé ? Dans quelle mesure la maison influe-t-elle sur notre vitalité, notre capacité de travail et même notre système respiratoire ? Le Baromètre européen de l'Habitat Sain* lancé par la société VELUX® approfondit ces questions à travers une étude scientifique sur la corrélation entre logement et santé.

L'enseignement à retenir : les critères qui amènent à se sentir bien chez soi se confondent avec ceux qui ont une incidence sur la santé.

Changer nos habitudes pour assainir notre cadre de vie peut influer de façon bénéfique sur notre santé.

L'ÉCLAIRAGE NATUREL

72 %

des Français ont recours à l'éclairage artificiel pendant la journée en raison de l'insuffisance de lumière naturelle.

L'AÉRATION

68 %

des Français aèrent leur logement moins des deux fois par jour recommandées.

LES CONDITIONS DE SOMMEIL

81 %

des Français n'aèrent pas leur chambre avant d'aller se coucher.

LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE

39 %

des Français ont souffert du froid l'hiver dernier pour limiter leurs coûts de chauffage.



Pour en savoir plus sur les caractéristiques d'un intérieur sain et les bonnes pratiques à adopter, découvrez l'intégralité du Baromètre de l'Habitat Sain 2016 sur :

www.velux.fr/a-propos ou flashez le code ci-dessous.

La société VELUX® s'engage au service d'un habitat durable en proposant des solutions qui s'efforcent de créer les conditions d'un logement plus sain, plus confortable et plus lumineux. Allier la notion de confort et de santé dans la rénovation énergétique de votre habitat est clé pour un cadre de vie sain.



VELUX®

*L'enquête Baromètre de l'Habitat Sain est menée dans 14 pays européens dont la France par l'Université Humboldt de Berlin

Visuels non contractuels

LA TECHNOFOLIE DU MOIS

Regardez partout vos DVD et la télévision en HD!

NOUVEAU

Ce lecteur DVD portable avec TNT HD est idéal avec son écran rotatif 9" et sa télécommande, il est très simple d'utilisation. Multifonctions, il capte toutes les chaînes TNT, lit vos DVD, vos fichiers multimédias avec son port USB, son lecteur de cartes SD, sa sortie HDMI et ses différents accessoires.



PAIEMENT 3x SANS FRAIS

LIVRAISON RAPIDE COLISSIMO OFFERTE

lecteur DVD portable 9" TNT HD - 139 € ou 3x46,33 €

Écran rotatif et inclinable à 180° 9" (22,5 cm) 16:9. Tuner TNT HD (MPEG-4). Batterie rechargeable intégrée (Li-ion). 2 haut-parleurs intégrés. Formats compatibles : DVD/CD/MP3/JPEG/MPEG 1, 2, 3 et 4. Connexions : port USB, sortie AV, lecteur de carte SD, sortie HDMI, coaxial, sortie audio 3,5 mm. Inclus : adaptateur AC, alimentation 12 volts pour la voiture, fixation appuie-tête & trousse, commande à distance, antenne TNT. Garantie 1 an (hors batterie). Éco-participation incluse.

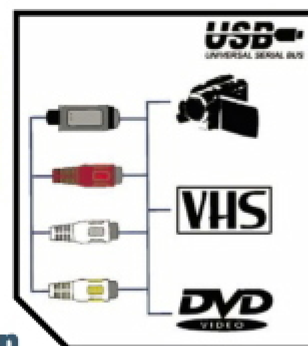
Ré-enregistrez facilement toutes vos VHS sur votre ordinateur!

Avant que les images ne disparaissent totalement des bandes VHS ou films 8 mm, transférez-les sur votre ordinateur ou gravez-les sur DVD/disque dur grâce au Grabbino©. Ingénieux et compact, il convertit parfaitement tous les formats analogiques en format numérique.



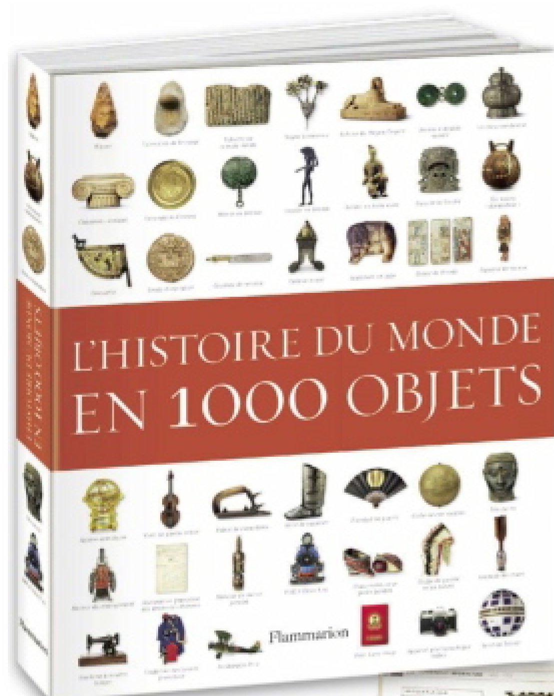
LE GRABBINO 39 € seulement

YES WE SCAN



Grabbino© YesWeScan

Pentium 4 2.4G ou plus. 512 Mo RAM ou plus. Port USB 2.0. Carte VGA supportant DirectX9.0. 600 Mo à 3Go de libre (par heure d'enregistrement). Livré avec manuel + CD logiciel + CD driver. Compatible Windows 7 et 8. Système plug & play.



Du néolithique à notre siècle!

Les objets de la vie courante tels que bijoux, outils, tableaux, pièces de monnaie… témoignent des évolutions techniques, habitudes et croyances. Appréhendez avec cette riche chronologie les évolutions des moyens de communication, de transport, ou encore des progrès des sciences, de la médecine, de l'éducation ou de la mode!

Recommandé par S&V*!



L'histoire du monde en 1000 objets
35 €

400 pages. Dim. 25,2x30,1 cm. Éditions Flammarion.

*Rubrique À voir à lire, S&V n°1179 p.133.

Prix public: ~~45€~~ 38,25 € seulement

RÉDUCTION SPÉCIALE -15%



La montre décontractée

Les lignes épurées du cadran et le beau bracelet en tissu canotier font de ces montres des modèles d'élégance et de légèreté. Bicolore ou tricolore, optez pour un air chic et décontracté avec votre modèle préféré! Livrées dans leur écrin et enveloppées dans leur coussin.

Montre bracelet tissu canotier Bicolore - 38,25 € / Tricolore - 38,25 €

Boitier doré. Manufacture haute qualité. Mouvement Quartz grande précision. Mécanisme Japonais haute précision. Modèle mixte. Livrée dans son écrin AW. Éco-participation incluse.

La *Boutique*

SCIENCE & VIE

Chaque mois, La Boutique *Science & Vie* sélectionne pour vous des livres, idées cadeaux et des objets scientifiques ou insolites.

Modernisez vos déplacements urbains !

100 % écologiques et ludiques, le monocycle et le gyropode à système gyroscopique se conduisent debout, sans les mains. Le principe est simple et intuitif :

1. Montez sur les cale-pieds, l'équilibre avant-arrière se fait automatiquement*.

2. Penchez-vous vers l'avant pour avancer et en arrière pour ralentir ou vous arrêter.

La petite taille (env. 40 cm de hauteur pour 10 kg) et la sangle de transport du monocycle vous permet de le ranger partout et de le transporter facilement sans prendre de place.

Les grosses roues à chambres à air du gyropode assurent la stabilité sur tous types de surfaces : sable, boue, caillou, bosses... Il s'agit de la version tout terrain et haut de gamme des smartboards du marché. Certifiés aux normes françaises & européennes.

*Pour vos débuts avec le monocycle, les roulettes d'apprentissage sont fournies !



Retrouvez notre trottinette électrique sur laboutiquescienceetvie.com

NOUVEAU

Prix public : ~~599€~~ **569€** ou 3 x 189,66 €

RÉDUCTION SPÉCIALE **-5%**

Monocycle électrique AIRWHEEL X3S

Moteur 350W haut de gamme sans balai (brushless) avec capteurs à effet Hall. Béquille et repose pieds en aluminium. Autonomie 15 km - Vitesse maximum 18 km/h. Batterie Samsung lithium 130 Wh. Triple protection de la batterie (surchauffe, décharge et court-circuit). Temps de charge ultra rapide 90 min. Indicateur sonore décharge batterie (15 %) + 4 leds de niveau de charge. Contrôle sécurité automatique : vitesse (+ de 12 km/h) et inclinaison (+ de 45°). Arrêt de la roue en cas de chute. Fourni avec roulettes d'apprentissage + sangle de transport + raccord gonflage. Poids 9,8 kg.

LIVRAISON RAPIDE COLISSIMO OFFERTE

PAIEMENT 3 x SANS FRAIS

Batterie Samsung en lithium de haute qualité



NOUVEAU

Prix public : ~~599€~~ **539€** ou 3 x 179,66 €

RÉDUCTION SPÉCIALE **-10%**

Gyropode électrique noir/carbone 10 pouces

2 rampes leds décoratives. Indicateur charge batterie. Batterie Samsung rechargeable en 2/3 h. Autonomie 15/20 km. Contrôle direction gauche droite. Vitesse 10 km/h. Charge mini 20 kg, maxi 100 kg. Taille Pneus 10'.

POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com
Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®, PayPal®

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 90125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9

01 46 48 48 83 (6 jours/7 paiement CB uniquement)

EN CADEAU avec votre commande dès **49 €**
La calculatrice écolo
avec le code avantage **380 865**
Fonctionne à l'eau. Dim. : 21 x 13 cm.



BON DE COMMANDE

À RENVOYER DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À : LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 90125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Lecteur DVD portable TNT HD	402.024	x	139€	= €
Convertisseur Grabbino©	371.856	x	39€	= €
Livre « L'histoire du monde en 1000 objets »	394.874	x	35€	= €
Montre canotier bicolore	397.588	x	38,25€ au lieu de ~~45€~~	= €
Montre canotier tricolore	397.570	x	38,25€ au lieu de ~~45€~~	= €
Monocycle AIRWHEEL X3S	398.115	x	569€ au lieu de ~~599€~~	= €
Gyropode noir/carbone	398.131	x	539€ au lieu de ~~599€~~	= €
Trottinette électrique	398.123	x	799€	= €
			SOUS-TOTAL	€
Avec ma commande dès 49€, je reçois en CADEAU la calculatrice écolo				OFFERT
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)	☐ Envoi normal			6,90€
	☐ Ma commande atteint 49€ Envoi Colieco			GRATUIT
	☐ Livraison rapide Colissimo			7,90€
	☐ Ma commande atteint 75€ Livraison rapide Colissimo			GRATUIT
			TOTAL	€

Frais d'envoi offerts dès 49 € de commande !

Offre valable uniquement en France métropolitaine pendant deux mois dans la limite des stocks disponibles. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo descellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

> Mes coordonnées

CODE AVANTAGE : 380.865

☐ M. ☐ Mme ☐ Mlle

Nom ____________ Prénom ____________

Adresse ____________

Complément d'adresse (résidence, lieu-dit, bâtiment) ____________

CP ☐☐☐☐☐ Ville ____________

Tél. ____________

Grâce à votre N° de téléphone (portable) nous pourrons vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande.

E-mail ____________

☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de *Science & Vie* (groupe Mondadori)

> Mode de paiement

☐ **Je règle par chèque** bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE
- ☐ en **1 fois** la totalité de ma commande
- ☐ en **3 fois sans frais** (à partir de 99 € d'achat)

☐ **Je règle par carte bancaire**
- ☐ en **1 fois** la totalité de ma commande
- ☐ en **3 fois sans frais** (à partir de 99 € d'achat)

PAIEMENT 3 x SANS FRAIS

Carte bancaire N° ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

Expire fin : ☐☐ / ☐☐

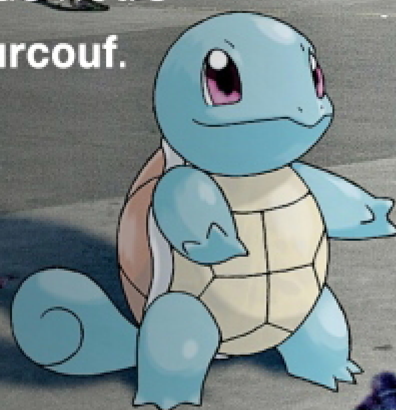
Cryptogramme ☐☐☐
Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

MONDADORI MAGAZINES FRANCE SAS - RCS 452 791 262 NANTERRE - CAPITAL : 60 557 458 €

POKÉMON
CE N'EST QU'UN DÉBUT !

Cet été, le jeu *Pokémon Go* a conquis la planète entière en transformant la réalité en terrain de chasse virtuel. Mais au-delà du jeu, ce succès scelle l'avènement de la "réalité augmentée". Parce que notre cerveau y croit. Et les industriels aussi. L'enquête d'**Ophélie Surcouf**.



Une déferlante planétaire. En seulement quelques semaines, *Pokémon Go* est devenu le jeu le plus populaire du monde. Du jamais vu ! Le 15 juillet, à peine plus d'une semaine après sa sortie aux Etats-Unis, 26 millions d'Américains étaient déjà convertis. Et fin juillet, le phénomène touchait la France avec la même ampleur. Déclenchant une frénésie collective qui a de quoi étonner : des joueurs n'ont pas hésité à se promener, portable en main, dans des mémoriaux de la Shoah ou l'ossuaire de Douaumont.

Sans aller jusque-là, la chasse aux Pokémons est devenue, à vitesse grand V, la première activité ludique des jeunes… mais pas seulement. Partout, on peut entendre parler de "PokéStops" et de "PokéBalls". Vous-même y avez déjà probablement joué… Et même si le phénomène se révèle éphémère, il marque une date décisive dans l'essor de la réalité augmentée.

UN TERRAIN DE JEU ILLIMITÉ

La recette de ce jeu ? Premier atout : il repose sur des technologies non seulement éprouvées mais suffisamment répandues pour faire aujourd'hui partie du quotidien de chacun. A savoir : un smartphone, pour la géolocalisation et la puissance de calcul, et une connexion internet. Le jeu récupère ainsi à son profit les atouts de vingt années de high-tech.

1968
Ivan Sutherland invente le premier casque stéréoscopique : il permet de **visualiser une image virtuelle en 3D.**

1992
Tom Caudell et David Mizell donnent la **première définition du terme "réalité augmentée".**



GO

L’aboutissement de 40 ans de “réalité augmentée”

2012

Création du jeu Ingress : en mêlant à grande ampleur image virtuelle et monde géographique réel, il sert de laboratoire expérimental à *Pokémon Go.*

2013

Lancement des **lunettes à réalité augmentée** Google Glass.

2016

lancement de POKÉMON GO

30 **millions de joueurs** à la mi-août (soit 1 mois seulement après son lancement)

206,5 **millions de dollars** de chiffre d’affaires de Niantic durant le premier mois (record mondial pour une application sur téléphone mobile)



Les 7 raisons du succès de "Pokémon Go"

1. Des technologies matures et déjà largement diffusées

Géolocalisation, smartphone, serveurs, réseaux 3G et 4G... *Pokémon Go* n'a eu qu'à combiner ces technologies devenues dominantes pour obtenir la recette gagnante.

2. Un scénario simplissime

Attraper des Pokémons, gagner des niveaux, combattre, gagner encore des niveaux… Son principe extrêmement simple et répétitif permet de toucher le plus large des publics.

3. Un terrain de jeu illimité

Exit le plateau de jeu ou même l'écran : ici, l'action se déroule dans la réalité elle-même. Elle investit l'espace public. Le jeu est déterritorialisé. Et c'est une première ! La carte change de contenu en fonction de l'endroit où l'on se trouve dans la ville et de l'heure qu'il est.

4. Une marque très connue

Un jeu vidéo, des dessins animés, des mangas… Depuis 1995, les Pokémons ont conquis des millions de joueurs et d'enfants. Un succès que *Pokémon Go* récupère aujourd'hui, entre nostalgie, pour les plus âgés, et enthousiasme des nouveaux adeptes.

→ Deuxième atout : un scénario qui brille par sa simplicité. Il s'agit d'attraper des petites créatures virtuelles baptisées Pokémons, disséminées un peu partout dans l'espace public, et de les faire évoluer pour gagner de l'expérience et devenir le meilleur "dresseur" (voir "La règle du jeu" p. 43). On ne joue donc plus dans un espace défini (un plateau d'échecs, un terrain de foot, un écran d'ordinateur…) : ici, la réalité elle-même est devenue un terrain de jeu sans limite de temps ni d'espace. Une première. Qui change tout.

Concrètement, tout repose sur la géolocalisation : en fonction des déplacements physiques du joueur et des différents moments de la journée, des Pokémons apparaissent sur la carte qui s'affiche sur l'écran de son téléphone portable. Pour les capturer, pas le choix : il faut aller les chercher en se déplaçant dans les rues, dans les parcs. Comme si ces petites créatures issues de l'univers créé il y a 21 ans par la firme japonaise Nintendo avaient envahi notre monde, tout en restant invisibles aux non-joueurs. Ce qui ajoute à son attrait. C'est comme si le joueur se livrait à une chasse aux fantômes.



Parmi les non-joueurs, certains trouvent cet engouement mondial puéril. Certes, mais cette fusion du réel et du virtuel n'en est pas moins totalement inédite. Au-delà de son aspect ludique, elle bouleverse profondément notre rapport au monde. Il ne s'agit pas seulement d'un effet de mode, ni même d'un jeu : quand bien même la folie *Pokémon Go* n'aura qu'un temps, elle est la première manifestation retentissante d'une technologie appelée à bouleverser notre perception des mondes virtuels, du monde réel… et finalement de nous-mêmes.

TOUJOURS PLUS CRÉDIBLE

"Réalité augmentée", "mixte", "fusionnée", "hyper-réalité", voire "virtualité augmentée"… Beaucoup de mots (voir encadré p. 44) pour un concept au fond très simple : ajouter des informations (images, sons, odeurs) à notre perception de la réalité – à ne pas confondre avec la "réalité virtuelle", où le monde extérieur est escamoté par un casque et où l'utilisateur est plongé dans un environnement 3D totalement artificiel.

Niantic, la société de Google à l'origine du jeu *Pokémon Go*, n'avait pas prévu le succès sans précédent de cette application – d'où quelques problèmes de lenteur dus à la sursollicitation des serveurs qui stockent les informations du jeu. Mais ce succès illustre la puissance du procédé. Et les pistes de développement du jeu donnent une petite idée des perspectives qu'ouvre cette interaction inédite entre réel et virtuel.

Des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) ont ainsi développé un programme qui promet aux joueurs d'interagir directement avec leur environnement. Plutôt que de flotter dans l'air, simplement superposé au réel, Pikachu pourrait par exemple faire bouger les feuilles des arbres en agitant sa queue. Dans cette quête d'une intégration toujours plus crédible du virtuel à la réalité, Niantic rêve, pour son jeu, de lentilles de contact qui permettraient même de s'affranchir de son smartphone pour voir ces créatures.

Et imaginez que nous puissions aussi toucher

7. La capacité de notre cerveau à y croire

Un Pikachu est perché dans un arbre ? Grâce à sa plasticité, notre cerveau trouve cela aussi probable que de voir gambader un lapin dans la rue. Après tout, il suffit de le voir pour le croire !

6. La gratuité (jusqu'à un certain point)

Pas besoin de l'acheter pour jouer : tout, dans *Pokémon Go*, est gratuit. Comme pour *Candy Crush*, il est ensuite possible de payer pour obtenir des extras, mais rien n'oblige à le faire.

5. L'innovation de la réalité augmentée

Il est beaucoup plus immersif de découvrir un Salamèche (Pokémon reptilien orange) devant vous sur le trottoir, que de l'observer sur le fond blanc de votre écran de Nintendo DS…

leur pelage, sentir leur odeur, les entendre marcher dans l'herbe, battre des ailes comme un oiseau. Ou qu'ils puissent se cacher derrière les arbres, nous surprendre, se cogner à nos fenêtres. C'est cette fusion de plus en plus intime du réel et du virtuel qui est en marche, dans les laboratoires, chez les développeurs et, depuis *Pokémon Go*, dans les esprits.

"La réalité virtuelle restera très adaptée au divertissement car l'immersion est plus facile dans un univers détaché de notre environnement réel, prédit Sun Joo Ahn, professeur en communication à l'université de Géorgie (Etats-Unis). *La réalité augmentée, elle, sera notre quotidien."*

On n'est pas obligé de la croire sur parole – à ce titre, l'échec retentissant des Google Glass devrait inciter à la prudence. Mais force est de constater que la réalité augmentée a de sérieux atouts pour envahir le monde. Et que *Pokémon Go*, par son efficacité, en a forcé la porte, ralliant à son principe des millions d'individus.

INTERAGIR DIRECTEMENT

Ainsi les industriels planchent-ils actuellement sur de nouvelles interfaces, avec de multiples applications professionnelles ou personnelles, bien au-delà du jeu phare de cet été. Leur idée ? Non plus des écrans qu'il faut frotter du doigt ou des carreaux de lunettes sur lesquels s'affichent des →

La règle du jeu

Pour attraper des Pokémons, il faut des PokéBalls, des petites balles virtuelles. Vous n'en avez qu'une cinquantaine au début et elles se font vite rares. Pour en récupérer: direction les PokéStops. Situés dans des lieux touristiques, ce sont souvent des œuvres d'art. Une fois à proximité, un médaillon s'affiche avec la photo du monument, de la peinture…: faites-le tourner et vous obtiendrez toutes sortes d'objets qui vous aideront dans votre quête (PokéBalls, leurres pour attirer les Pokémons, potions pour récupérer des points de vie). Une fois bien équipé, gagnez de l'expérience en attrapant des Pokémons et atteignez le niveau 5. A partir de là, vous pouvez vous battre dans des "arènes", généralement situées dans des endroits très fréquentés. Le but ? S'emparer de l'arène pour son équipe (bleue, rouge, jaune, vous la choisissez la première fois que vous entrez dans une arène) et en devenir le champion !



informations, mais des "visiocasques" qui permettent de voir le réel et d'y intégrer des hologrammes en 3D avec lesquels on interagit directement d'un simple geste. L'interface reconnaît en effet les mouvements de nos mains ce qui permet, par exemple, de tourner, pousser ou déplacer l'hologramme.

Avec son ordinateur intégré, le visiocasque de Microsoft, baptisé HoloLens, en est aujourd'hui le prototype le plus avancé. Il est déjà disponible pour les développeurs et les entreprises pour la somme de 3 000 dollars. Les concepteurs estiment que sa sortie grand public ne devrait pas se produire avant 2020 – mais *Pokémon Go* pourrait bien accélérer le processus.

D'autres visiocasques sont en cours de développement, comme les lunettes Meta, de la start-up américaine du même nom, beaucoup moins chères (945 dollars pour la première version), mais qui nécessitent d'être connectées à un ordinateur puissant. Sans oublier l'entreprise Magic Leap, qui concocte elle aussi, dans le plus grand secret, un prototype.

MISER SUR LES CONTENUS

Avec ces interfaces, les interactions réel-virtuel deviennent beaucoup plus fluides : dans le jeu *Young Conkers*, conçu par la firme bordelaise Asobo, il suffit de s'équiper des HoloLens de Microsoft pour voir le héros du jeu, en l'occurrence un écureuil orange, bondir sur votre mobilier, se pencher au bord des meubles et tenter de retrouver son équilibre… Changez une table de place et le plateau de jeu s'en trouve complètement modifié !

Ce mélange entre objets réels et hologrammes reste un défi. *"Techniquement, le rendu doit être de bien meilleure qualité que celui de la réalité virtuelle car l'utilisateur peut comparer le virtuel au réel qui se trouve devant ses yeux"*, avertit Sun Joo Ahn. La réalité augmentée demande donc plus de réalisme, une meilleure qualité graphique, une 3D parfaite et des comportements normaux de la part des hologrammes. *"Cela dit,* ajoute la chercheuse, Pokémon Go *montre bien qu'avant la technique, l'essentiel c'est le contenu !"*

Car les développeurs n'oublient pas que c'est le manque de contenu qui a, entre autres, entraîné l'arrêt brutal des Google Glass. Côté applications, ils tablent donc aujourd'hui sur la médecine, le tourisme ou l'industrie (voir ci-dessus).

"Pour le moment, ce sont des objets faits pour être utilisés à la maison, constate Steven Feiner, le directeur du laboratoire Computer Graphics and User Interfaces Lab à l'université Columbia (Etats-Unis), un des concepteurs de Meta. *Les gens reprochaient aux Google Glass de donner des airs de robot*

Bientôt de nouveaux équipements…



Des lunettes pour s'immerger

Avec les visiocasques, la frontière avec le réel n'est plus matérialisée. Prototype le plus avancé, les HoloLens de Microsoft devraient être accessibles au grand public vers 2020…



Des gants

Sentir le poids des objets et leur texture, mais aussi les retours de force. Gloveone, le prototype de gants de la société Neurodigital le permet déjà. Grâce aux vibrations, on sentira même la chaleur d'un feu de cheminée !



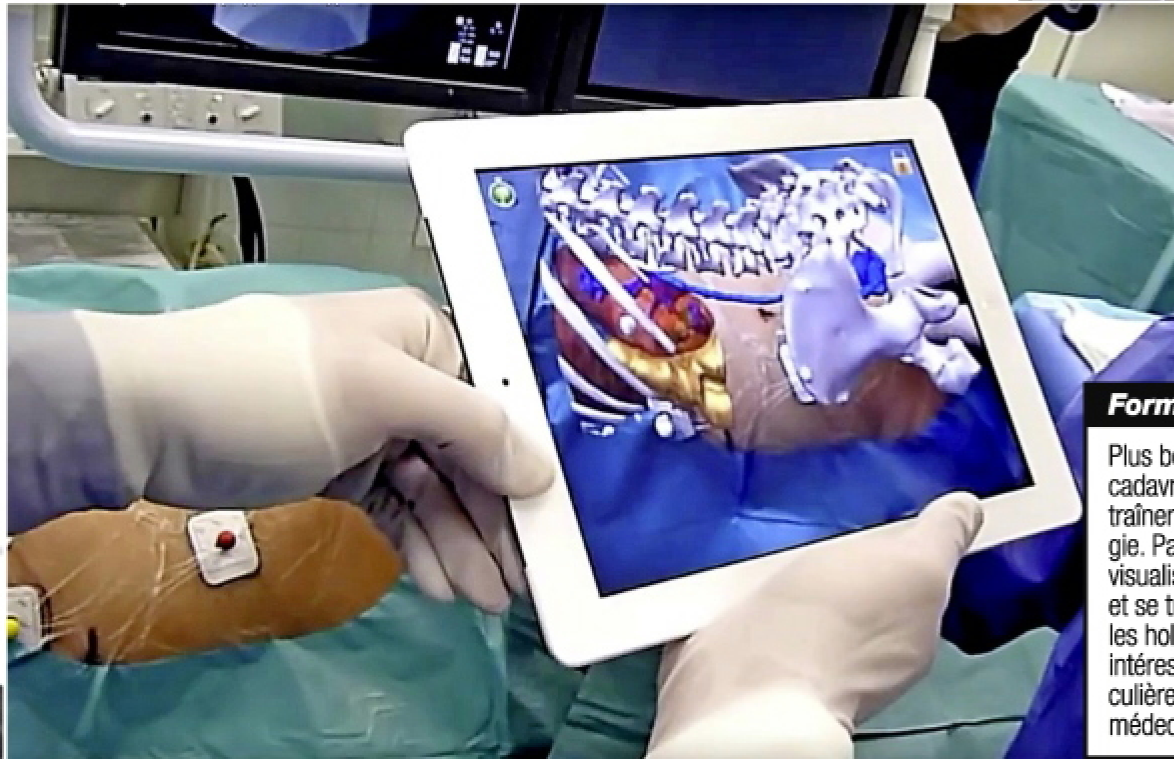
"Réalité augmentée" *versus* "réalité virtuelle"

Le marketing et les médias ont tendance à multiplier le vocabulaire pour parler de tout ce qui constitue le virtuel, mais les scientifiques, eux, n'utilisent que quatre termes. La "réalité augmentée", qui consiste à mettre un peu de virtuel dans le réel (HoloLens, Meta). La "virtualité augmentée", qui fait l'inverse : un peu de réel dans beaucoup de virtuel (Alloy d'Intel, le HTC Vive, The Void). Si on ne sait pas très bien quel degré de réel se mêle au virtuel, et vice versa, (ou que l'on veut éviter de tout compliquer), on parle alors de "réalité mixte". Enfin, la "réalité virtuelle" est la plus proche d'un virtuel total et se coupe volontairement de la réalité (Oculus Rift, PlayStation VR, Samsung Gear, Google Cardboard…).



… pour de nouvelles applications





Jeux

Jouer les Sherlock Holmes ou découvrir le Machu Picchu dans son salon? La réalité augmentée le permet déjà: Asobo Studio a mis au point Fragments pour le premier et HoloTour pour le second.

Formation

Plus besoin de cadavre pour s'entraîner à la chirurgie. Parfaits pour visualiser, tester et se tromper, les hologrammes intéressent particulièrement les médecins.

Autres applications

Immobilier, astrophysique, centrales nucléaires… La réalité augmentée permet de représenter l'invisible dans un espace réel. La Nasa a, par exemple, mis en place OnSight, une application qui permet aux scientifiques de s'équiper d'un simple casque pour s'en aller fouler le sol de Mars comme s'ils y étaient…

à ceux qui les portaient. On risque d'être confronté à la même problématique avec les visiocasques: les porter à l'extérieur ne serait pas acceptable socialement, au moins au début. Il est donc encore trop tôt pour penser qu'un jeu comme Pokémon Go *puisse être utilisé avec les HoloLens ou Meta."*

BERNER NOTRE CERVEAU

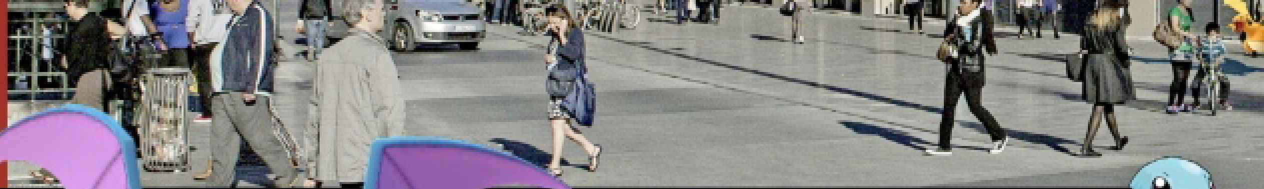
Aussi impressionnantes soient-elles, il n'y a donc aucune garantie de succès pour ces nouvelles interfaces et ces nouveaux contenus. Mais le point clé est ailleurs. Si l'avenir de la réalité augmentée dépend évidemment des progrès de la technologie et des contenus, son principal atout réside en fait… dans notre cerveau lui-même. Et plus précisément, dans son incroyable facilité à se laisser immerger dans ces nouveaux univers semi-virtuels.

Au Japon, Takuji Narumi peut vous faire croire que vous mangez un gâteau au citron alors que vous tenez dans votre main un cookie au chocolat! Pour cela, le chercheur de l'université de Tokyo a construit un casque qui mêle le visuel et l'olfactif. Il peut même tromper votre sensation de satiété en diminuant ou en augmentant la taille du cookie dans votre visiocasque grâce à un procédé visuo-tactile. En réalité? Sa taille n'a pas changé et vos doigts n'ont pas bougé. *"Mélanger les sens augmente notre sensation de réel,* explique Takuji Narumi. *Notre cerveau compose la réalité en utilisant divers indices sensoriels. Si ces indices sont incohérents les uns avec les autres, notre cerveau sera confus, d'où l'importance d'une cohérence entre tous les éléments que nous percevons. C'est la clé d'une illusion réussie."*

L'expérience repose sur la connexion cérébrale entre nos sens et notre hippocampe, la partie du cerveau qui gère la mémoire. *"Si je vous dis 'citron', vous allez penser à un goût, une couleur, un sentiment…,* développe Yong-soon Choi, chercheur sur les interfaces multisensorielles à l'université de Sogang, à Séoul. *En suggérant que le cookie au chocolat a l'aspect et l'odeur d'un gâteau au citron, les souvenirs suscités se combinent et transforment notre perception du réel."*

L'illusion a été poussée encore plus loin par Jinsoo An. Dans le cadre du Project Nourished développé par sa start-up Kokiri Lab, à Los Angeles, ce chercheur a ajouté des bruits de mastication à l'odeur et à la vue. Résultat: les participants peuvent couper un steak avec des couverts, le mâcher, le goûter, l'avaler comme s'ils le mangeaient pour de vrai, puis ressentir un sentiment de satiété… alors qu'en réalité, leur vraie assiette est vide! *"Des études ont montré*





→ *que le simple fait d'entendre mâcher permettait de renforcer le goût"*, ajoute Yongsoon Choi.

Une des clés du succès de *Pokémon Go* est d'ailleurs de s'être appuyé sur un des sens qui dupe le mieux notre cerveau : la proprioception, autrement dit le sens du mouvement. Je sais que ma main est ma main car je peux la voir se plier en même temps que je sens mes muscles s'étirer. Mel Slater, qui dirige l'Experimental Virtual Environements Lab de l'université de Barcelone, a démontré que, pour nous immerger dans le virtuel, l'association de cette proprioception avec la vue était plus forte que celle de la vue et du toucher. Voilà qui explique pourquoi nous croyons si facilement que le personnage qui se déplace sur la carte de *Pokémon Go* en même temps que nous est bien notre avatar virtuel – et donc nous-même.

La puissance de la proprioception dans les environnements virtuels est proprement stupéfiante. Jeremy Bailenson, le fondateur du Virtual Human Interraction Lab de l'université Stanford, a montré que la plasticité de notre cerveau est telle que quelques minutes de familiarisation avec un membre virtuel que nous pouvons faire bouger suffisent à accepter que nous ayons… un troisième bras ! Ces travaux pourraient aider à soulager les douleurs liées à la sensation de membres fantômes.

Mais la confusion peut aller plus loin encore. Dans une série d'expériences, Mel Slater et son équipe ont ainsi attribué à des femmes blanches un avatar virtuel de femme noire, à des hommes un corps de femme et à des adultes un corps d'enfant. Or, tous ont rapidement commencé à agir comme si ce corps virtuel était le leur, les adultes-enfants surestimant la taille des objets, les femmes devenues noires agissant conformément à des biais raciaux… Inconsciemment, leur attitude était modifiée par leur avatar. Des effets de ces transferts de corps qui, selon les dernières recherches non encore publiées de Mel Slater, sont encore présents au moins une semaine après l'expérience !

"Notre connaissance des effets du virtuel sur nos actions est très limitée, car le champ de recherche est très récent, explique Domna Banakou, assistante de recherche de Mel Slater. *La théorie est que nous agissons dans certains contextes comme nous pensons devoir agir et comme les autres pensent que nous devrions agir. Le changement de la représentation que nous nous faisons de notre propre corps nous transforme donc. L'important est que toutes les informations sensorielles soient cohérentes les unes avec les autres pour que l'illusion fonctionne."*

Un impact sur le cerveau qui pose question

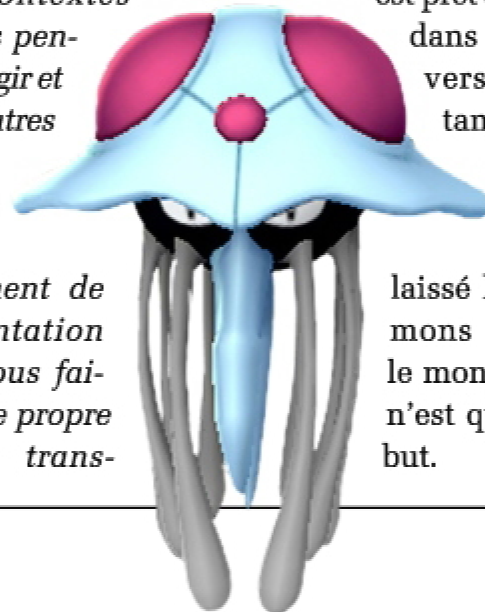
Les études sur l'impact du virtuel sur notre cerveau sont difficiles à mener, il en existe donc très peu. Mais celle de Mayank Mehta laisse pantois. En 2009, ce chercheur en neurophysique à l'université de Californie (Los Angeles) a fait courir des rats dans un labyrinthe virtuel et mesuré l'activité de leurs neurones – le labyrinthe avançait, projeté sur les quatre murs de la pièce au centre de laquelle le rat, stabilisé par un harnais, courait dans une balle. Les résultats ? Incroyables : 60 % des neurones de son hippocampe (mémoire, navigation) s'éteignaient dans cet environnement virtuel ! Quant aux 40 % restants, leur représentation de l'espace était totalement perturbée… Depuis, Mayank Mehta tente de déterminer quel est exactement l'effet de la réalité virtuelle sur notre hippocampe : *"Je ne sais pas si c'est dangereux, mais c'est la seule partie de notre cerveau qui change toute notre vie : chaque expérience le modifie. Je serais très surpris que la réalité virtuelle ou augmentée n'ait pas de conséquences à long terme."*

ÇA DONNE LE VERTIGE !

Alors que se cristallisent de nombreux débats éthiques et sociaux autour de l'intelligence artificielle, les technologies de la réalité augmentée auraient tout autant besoin de réflexions. Il reste de nombreuses années de recherche avant de véritablement comprendre ce que ces technologies provoquent dans notre corps, et tout particulièrement dans notre cerveau, affecté comme aucune autre technologie n'avait réussi à le faire jusque-là (voir encadré ci-contre).

Les perspectives ouvertes par ces recherches donnent déjà le vertige. Serons-nous changés par le virtuel ? Pourrons-nous être guéris de maladies mentales incurables ? Hackés comme des ordinateurs ? Mangerons-nous des insectes au goût de cookie au chocolat ? Vivrons-nous dans un monde à la réalité augmentée ?

Une chose est sûre : notre cerveau d'*Homo sapiens* est prêt à plonger dans ces univers déroutants. C'est déjà lui, *in fine*, qui a laissé les Pokémons envahir le monde. Et ce n'est que le début.



L'année qui vient de s'écouler l'a sombrement démontré : le terrorisme n'a plus un visage, mais de multiples. Qu'il s'agisse des cibles, des armes ou des individus (seuls ou en groupe), des attentats semblent désormais pouvoir se produire à tout moment, venant de n'importe où. Face à ce constat, l'antiterrorisme a forcément un coup de retard. Un retard qu'il cherche cependant à combler… grâce aux avancées de la science. Car DGSE, RAID ou GIGN se dotent actuellement de nouveaux équipements, que ce soit pour tenter de détecter les menaces en amont ou mieux intervenir sur le terrain. Des moyens inédits qui vont de pair avec une réflexion de fond sur la lutte contre ce nouveau terrorisme.

ANTITER LES NOUVELLES ARMES

PAR FRÉDÉRIC LERT ET THOMAS CAVAILLÉ-FOL

JEAN NICHOLAS GUILLO/PHOTOPQR/LE PARISIEN/MAXPPP


RORISME
À LA UNE

Charlie Hebdo, le Bataclan, Nice, Saint-Etienne-du-Rouvray… Sans oublier Orlando, Bruxelles, Istanbul, Munich… La liste s'allonge, mois après mois. Brutalement, le terrorisme s'est installé dans notre vie quotidienne.

Ce n'est certes pas la première fois que la France est frappée. Mais le nombre de victimes, la fréquence des attentats et, surtout, leur nature ont quelque chose d'inédit.

Il ne s'agit plus seulement de détournements d'avions, comme dans les années 1970, ni d'attentats à la bombe, comme lors de la vague des années 1980. Cette fois, la menace semble pouvoir venir de partout et de n'importe qui, d'individus isolés comme de groupes bien organisés, visant une foule d'anonymes ou des cibles spécifiques, selon d'innombrables moyens qui vont de l'armement lourd à l'arme blanche en passant par un camion…

Désormais, le terrorisme a de multiples visages. Il est entré dans une nouvelle ère – et nous aussi par la même occasion.

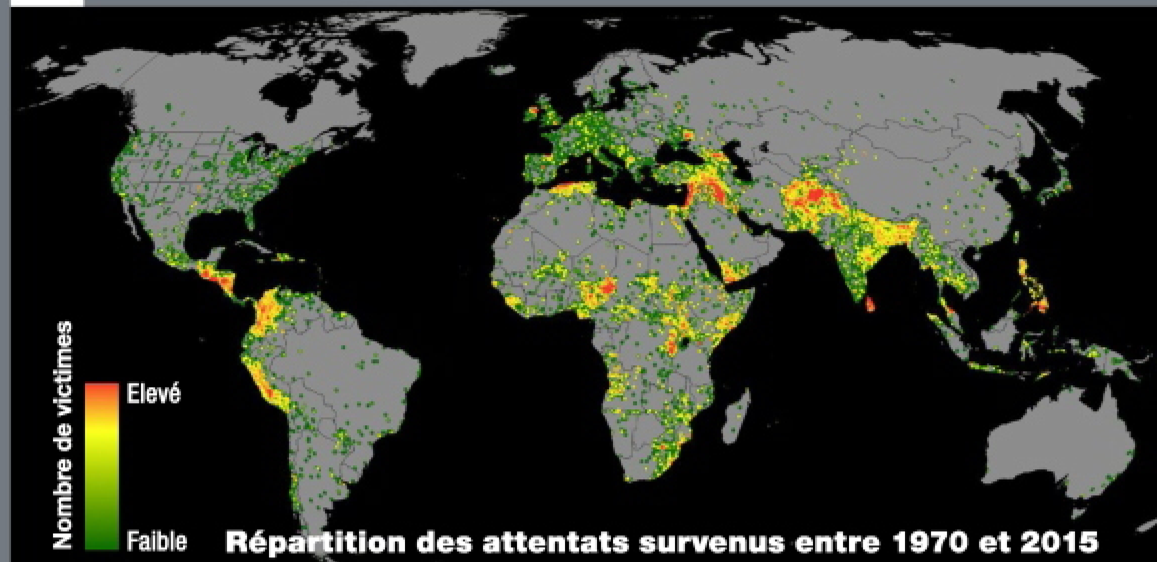
Ce que confirment les chiffres. Depuis dix ans, le nombre d'attaques terroristes dans le monde a été multiplié par treize et le nombre de victimes par cinq, selon le recensement du National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism de l'université du Maryland (Etats-Unis). Et si la majorité d'entre elles touche depuis de nombreuses années un groupe de cinq pays sensibles (l'Irak, le Nigeria, l'Afghanistan, la Syrie et le Pakistan), le reste du monde est de plus en plus souvent pris pour cible: le nombre d'attaques y a augmenté de plus de 50 % en 2013 et en 2014. La série d'événements survenus en France depuis le début de l'année dernière (148 victimes en 2015, 88 à août 2016) va fatalement confirmer la tendance.

CE QUE DISENT LES STATISTIQUES

En compulsant les données des attentats survenus depuis 45 ans (voir carte), Neil Johnson, physicien à l'université de Miami, a repéré deux figures régulières qui semblent se dégager derrière ce macabre décompte.

D'abord, le nombre de morts semble suivre une loi de puissance dont le coefficient alpha vaut 2,5. Ce qui signifie? *"Que pour chaque attaque faisant 100 morts, il faut s'attendre à 300 attaques faisant 10 victimes"*, explicite le chercheur. Une relation confirmée par les travaux d'Aaron Clauset à l'université du Colorado. *"Je suis sûr que les événements récents en Europe obéissent à cette loi"*, affirme Neil Johnson.

Autre règle: *"Dans un pays donné, l'intervalle moyen entre le deuxième et le troisième attentat est deux fois plus court que celui entre le premier et le second; celui entre le troisième et le quatrième est divisé par trois, et ainsi de suite."* Le physicien prévient: *"Il faut s'attendre à ce même type d'escalade en Europe."* T.C.-F.



Répartition des attentats survenus entre 1970 et 2015

D.FLORENTZ - GLOBAL TERRORISM DATABASE

VERS UN TERRORISME "LOW COST"

Et les premières lois qui commencent à se dessiner n'invitent pas à l'optimisme. En particulier, une analyse statistique poussée de nombreux conflits ayant eu lieu sur une période longue, du terrorisme irakien à celui d'Irlande du Nord, laisse présager une accélération du rythme de ces attentats (voir l'encadré ci-contre).

Que faire face à ce nouveau paradigme? Quels moyens de défense mettre en œuvre? De plus en plus de nations se débattent pour trouver des réponses à ce défi. Et la France est ici en première ligne.

Certes – et c'est là la force intrinsèque du terrorisme –, la parade miracle n'existe pas. *"Les terroristes ont toujours une longueur d'avance"*, résume Gilles Ferragu, historien spécialiste du sujet à l'université Paris-Ouest-Nanterre. Comment espérer protéger une foule d'un homme seul au volant d'un camion? *"C'est le terrorisme* 'low cost', *avec un minimum de préparation, sans entraînement ni technologie, qui rend le terrorisme accessible au premier venu…"*, résume Camille Grand, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique.

Aussi cruel et désespérant que ce soit, chacun a bien pris conscience qu'il n'y a pas grand-chose à faire quand le danger peut venir de n'importe où et frapper n'importe quand. Mais cela n'implique pas qu'il n'y a rien à faire. Bien au contraire.

Qu'il s'agisse d'intervenir en amont ou en aval, les services de l'antiterrorisme ont d'abord besoin de →

La science en renfort…
1. Pour prévenir la menace d'attentats

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Des algorithmes "intelligents" sont capables de traiter les signaux de manière plus efficace et plus rapide ; ils servent par exemple à reconnaître en temps réel un visage dans la foule (lire p. 56).

L'INFORMATIQUE

L'envolée des puissances de calcul permet de traiter l'avalanche de données récoltées. De quoi décoder les messages cryptés, identifier les profils à risque, tracer personnes et marchandises… (lire pp. 54-55).

LES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Les services de renseignements se sont dotés d'équipements d'écoute des réseaux (téléphonie mobile, internet…) qui leur permettent de récolter d'importantes quantités de données (lire pp. 54-55).

disposer des meilleurs équipements possible. *"Tout le défi du contre-terrorisme consiste à développer des solutions pour parer les évolutions des méthodes terroristes au moment où elles émergent"*, résume l'historien. Et la science est ici appelée en renfort.

Au lendemain des attaques de Paris en novembre 2015, services gouvernementaux et industriels français se sont ainsi retrouvés longuement lors d'une réunion de crise pour faire le point sur les équipements disponibles, et ceux faisant défaut.

UN ARSENAL MIEUX ADAPTÉ

Premier enjeu : percevoir la menace et gérer l'information. Dans ce domaine, celui du renseignement, l'arme se fait mathématique et informatique, sous la forme de codes et de puissance de calcul. Cet arsenal voit l'apparition d'une nouvelle génération d'algorithmes intelligents, lancés à l'assaut des réseaux pour les sonder en profondeur, afin d'essayer de mieux détecter les signaux précurseurs avant que leurs conséquences ne deviennent funestes : regroupements suspects sur des forums, discussions sur des messageries cryptées, diffusion de propagande sur les réseaux sociaux… L'intelligence artificielle est aussi mobilisée pour reconnaître dans la foule des individus recherchés ou des comportements suspects.

Second enjeu : augmenter les capacités des groupes d'intervention sur le terrain grâce à de nouveaux équipements et une meilleure organisation. Ont été ciblés à cette occasion une vingtaine de besoins portant sur un large panel d'applications, de la plus basique (augmenter la puissance de feu des armes) à la plus technique (minidrones, réseaux de communication à haut débit faciles à déployer…).

Des technologies inédites d'investigation et de surveillance aux nouveaux outils d'intervention sur le terrain, passage en revue des équipements dont sont en train de se doter les services antiterroristes, fruit du retour d'expérience des derniers attentats. **F.L.**

D.FLORENTZ

2. Pour les interventions sur le terrain

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

De puissants émetteurs de radiofréquences sont capables de détecter une présence à travers un mur (lire p. 62) ou de neutraliser un drone, par exemple en brouillant son système de navigation (lire p. 60).

LA ROBOTIQUE

Miniaturisation, capacité à embarquer diverses charges utiles, dont des caméras… Grâce aux progrès de la robotique, les robots et les drones peuvent remplacer les humains sur certaines missions périlleuses (lire p. 57 et p. 58).

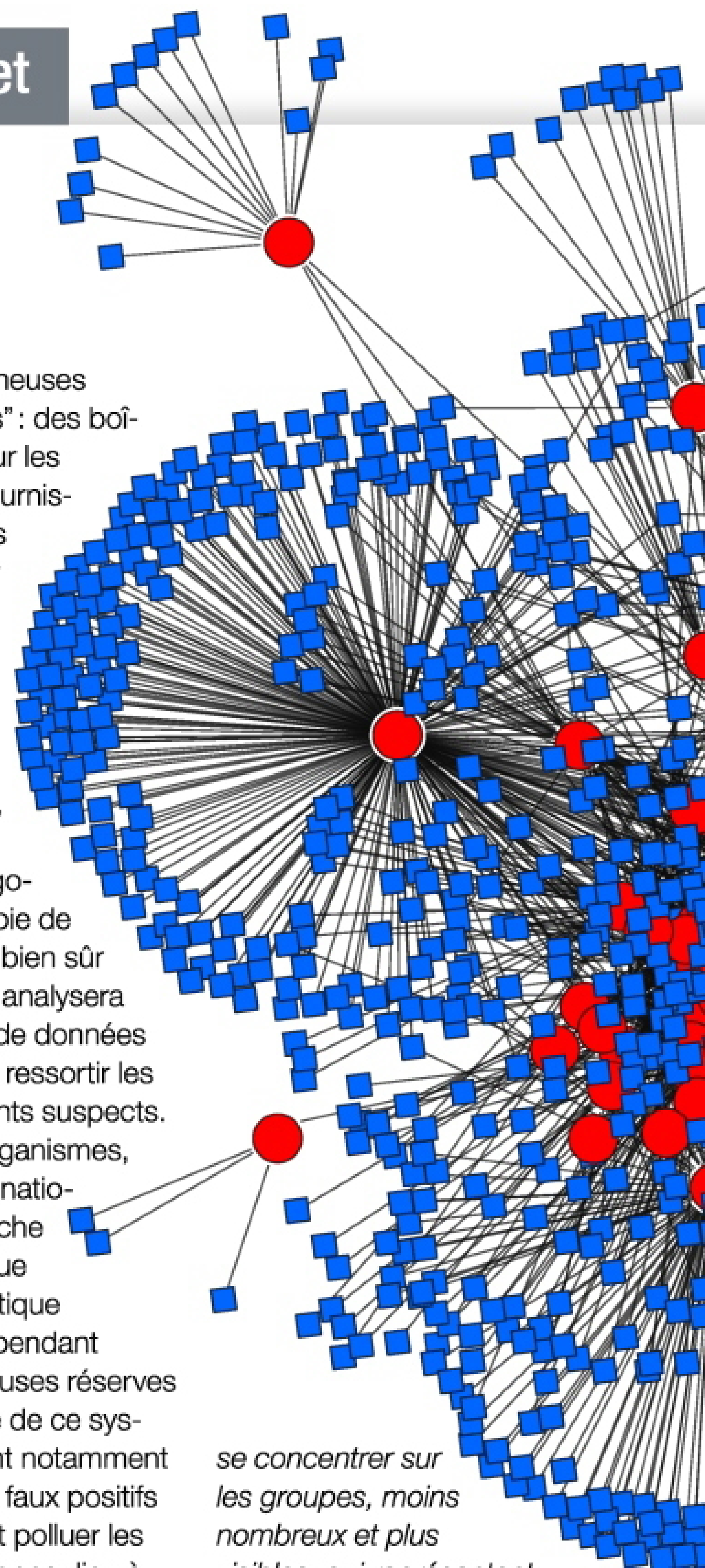
LA PHYSICO-CHIMIE

Grâce à la miniaturisation des techniques d'analyse par spectrométrie et spectroscopie, il devient possible de détecter en temps réel la présence, même infime, de particules dangereuses (lire p. 60).


RESTRICTED PARKING
LES MATÉRIAUX
Les progrès réalisés sur les polymères et autres matériaux composites permettent de disposer de protections et de fusils plus légers mais tout aussi efficaces (lire p. 59 et p. 63), ainsi que de véhicules blindés polyvalents (lire p. 61).
LA MÉCANIQUE DES FLUIDES
Les dernières avancées dans ce domaine, couplées à l'utilisation d'explosifs, font apparaître des technologies d'effraction utiles pour ouvrir une brèche dans un mur même épais (lire p. 59).
LES RADIO-COMMUNICATIONS
Grâce à l'avènement des smartphones et du sans-fil, des formes de communication plus discrètes et plus solides au sein des groupes d'intervention sont désormais possibles (lire p. 63).
À LA UNE

Face à la propagande terroriste sur internet

De nouveaux algorithmes pour scruter le cyberespace



C'est le premier front de la lutte. Là où les nouvelles armes sont les plus cruciales et les plus difficiles à mettre en place. Les plus secrètes, aussi. *"La lutte antiterroriste se doit d'être obscure, notamment sur le web"*, confirme Vincent Joubert, expert en cyberdéfense et cybersécurité à la Fondation pour la recherche stratégique. Impossible d'ailleurs de connaître l'emplacement et la puissance des serveurs de la Direction générale de la Sécurité extérieure (DGSE), chargée de cette surveillance.

Une toile tentaculaire

Ce n'est pas le "dark web", cette part cachée d'internet échappant aux moteurs de recherche et hébergeant tous les cybertrafics illicites, qui est en ligne de mire, mais bien le réseau internet classique. *"Daesh se démarque des autres groupes terroristes en s'étant doté d'une cellule spécialement dédiée au cyberespace, à des fins de propagande, de recrutement, de financement, de communication et de coordination"*, précise l'expert.

Comment contrôler cette toile tentaculaire, sachant qu'outre les lois relatives aux libertés individuelles, la surveillance se heurte au cryptage des données?

Première solution: cibler les fichiers. Photos, vidéos, textes et enregistrements audio faisant l'apologie du terrorisme ont beau être supprimés par les responsables des réseaux sociaux et des moteurs de recherche dès qu'un internaute les signale, ils resurgissent rapidement sous d'autres formes ou d'autres noms.

"Mais chaque fichier identifié comme indésirable peut être décomposé en une 'empreinte digitale' unique, indique Hany Farid, professeur de sciences informatiques à l'université Dartmouth (Etats-Unis). *Nous avons ainsi mis au point un logiciel qui scrute le web en continu pour détecter et extraire ces empreintes dès qu'elles réapparaissent."* Et ce même si le fichier a été renommé ou altéré (par exemple passé en noir et blanc) afin de brouiller les pistes.

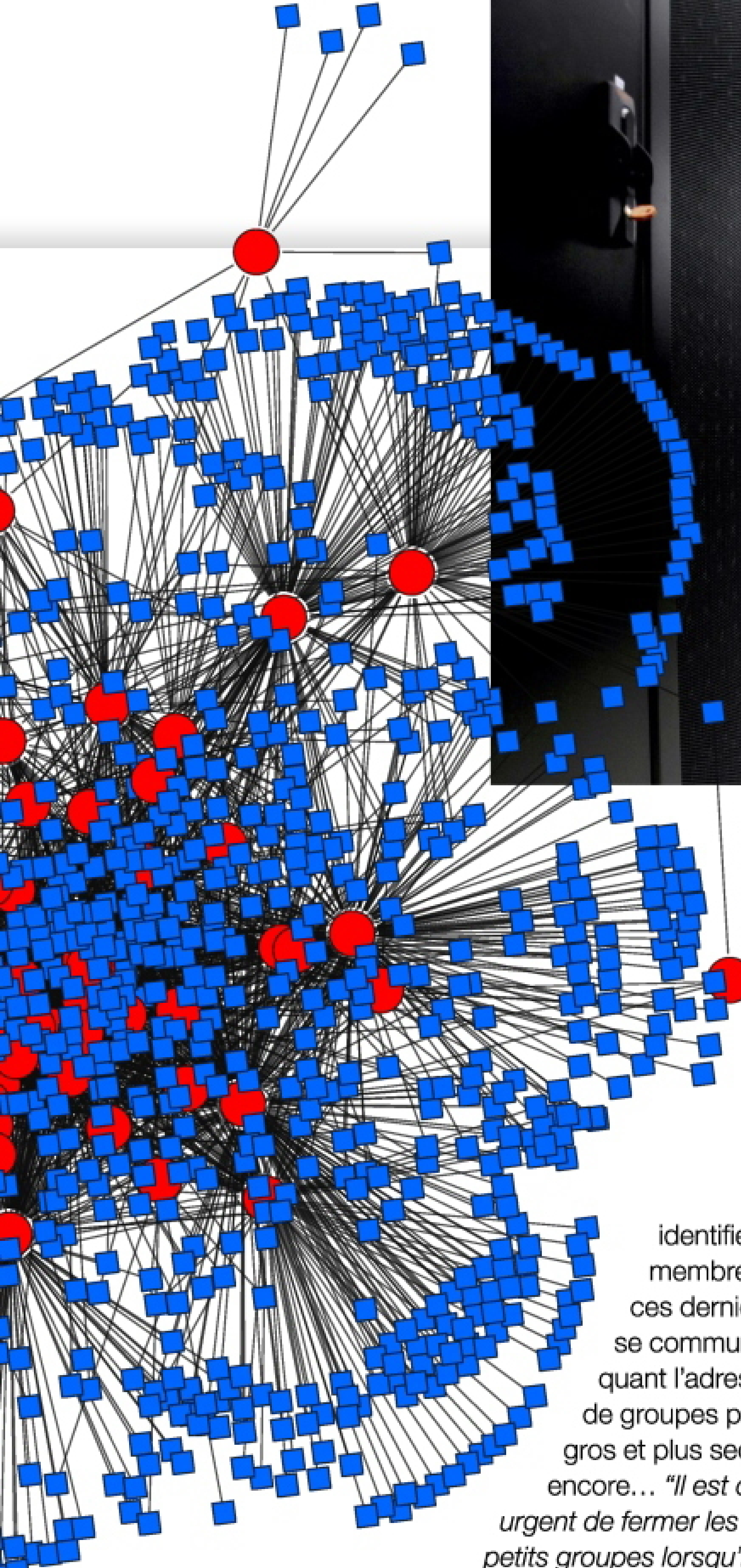
Reste que si la technologie existe, aucun gouvernement n'a encore obligé les moteurs de recherche ou les réseaux sociaux à l'utiliser. En revanche, les algorithmes antiterroristes ciblant les individus suspects vont bientôt entrer en service. La loi sur le renseignement de juillet 2015 a en effet autorisé la mise en place des fameuses "boîtes noires": des boîtiers posés sur les câbles des fournisseurs d'accès pour recueillir toutes les métadonnées qui transitent par eux (historique internet, appels passés…). Un algorithme – en voie de finalisation et bien sûr tenu secret – analysera cette masse de données afin d'en faire ressortir les comportements suspects.

Plusieurs organismes, dont l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria), ont cependant émis de sérieuses réserves sur l'efficacité de ce système, pointant notamment le nombre de faux positifs qui pourraient polluer les résultats et donner lieu à de dommageables erreurs sur la personne, ou l'accès aux métadonnées, souvent conservées hors de portée des services français.

Pister les groupes

Neil Johnson, physicien à l'université de Miami, promeut une autre approche: *"Au lieu de pister les individus, il vaudrait mieux se concentrer sur les groupes, moins nombreux et plus visibles, qui représentent l'entière organisation. D'autant que même les terroristes isolés, comme le chauffeur de Nice ou le tueur d'Orlando, ont à un moment donné fait partie d'un de ces groupes."*

Sur le réseau social russe VKontakte, où la surveillance est plus lâche que sur Facebook ou Twitter, le chercheur américain





La salle des serveurs de la DGSE

Fonction : analyse des informations sur internet et les réseaux sociaux

Atout : la puissance de calcul (classée secret défense)

< Représentation du réseau social russe VKontakte, montrant 196 groupes faisant l'apologie du terrorisme (en bleu), qui ont ensuite fusionné en “supergroupes” (en rouge).

a répertorié, entre janvier et août 2015, 196 groupes, réunissant au total plus de 100 000 “followers”, et étudié leur stratégie. D'abord, un groupe naissant essaie toujours d'être le plus visible possible, afin d'attirer un nombre important de nouvelles recrues ; passé un certain seuil, il devient rapidement privé et il n'est alors plus possible d'en identifier les membres, ces derniers se communiquant l'adresse de groupes plus gros et plus secrets encore… *“Il est donc urgent de fermer les petits groupes lorsqu'ils sont visibles, avant qu'ils ne fusionnent en 'supergroupes'*, prévient Neil Johnson. *Nous avons aussi observé une prolifération de nouveaux groupes juste avant certaines attaques récentes. La surveillance des réseaux sociaux peut donc aider à la prédiction de futurs attentats.”*

La guerre numérique ne fait que commencer. **T.C.-F.**

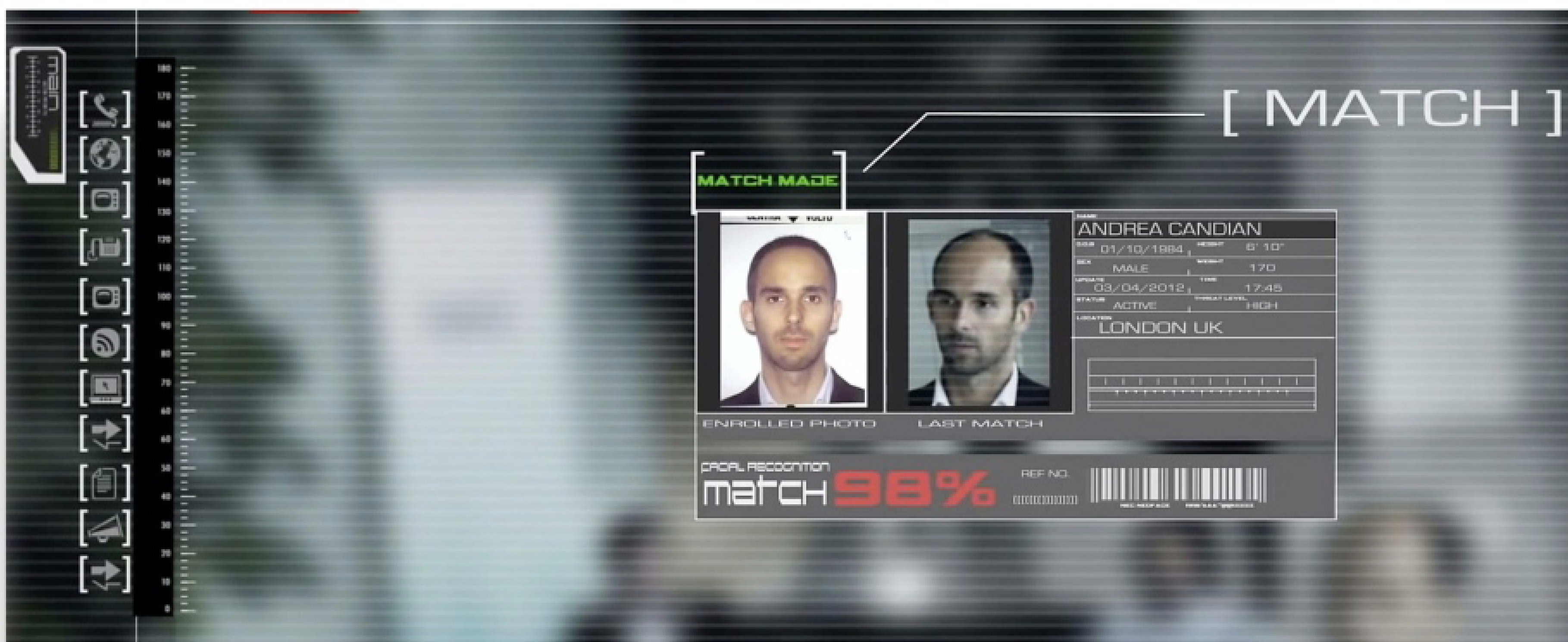
Telegram, WhatsApp… le défi de la cryptographie

Le chiffrement des conversations sur les différentes applications de messagerie demeure un vrai problème pour les services antiterroristes. *“Certes, les métadonnées – qui parle à qui et à quelle heure – sont accessibles, et le cryptage n'est pas techniquement inviolable. Mais cela nécessite du temps et une puissance de calcul impressionnante”*, prévient Gérôme Billois, expert en cybercriminalité au sein du cabinet de conseil Wavestone. Impossible en pratique… en attendant l'ordinateur quantique.

Pour l'heure, place aux méthodes d'infiltration “à l'ancienne” : taupes, faux profils… C'est probablement ainsi que l'agence israélienne Intsights serait parvenue, en août, à pirater un groupe de plus de 500 membres appelant depuis plusieurs mois à l'attaque de cibles précises, dont l'église de Saint-Etienne-du-Rouvray. *“Il est aussi possible de cibler téléphones et ordinateurs*, poursuit Gérôme Billois. *Récupérer le matériel d'un terroriste permet d'avoir l'historique de ses données. On peut également le trafiquer de manière à savoir tout ce qui est tapé sur le clavier, et donc accéder au contenu chiffré.”*

Enfin, l'antiterrorisme peut aussi espérer des erreurs humaines. En août, deux Françaises ont ainsi été interpellées pour des propos “inquiétants” postés sur Telegram… mais non cryptés ! **T.C.-F.**

À la une



Face à des terroristes fondus dans la foule

Des logiciels qui scannent les visages à la volée

Depuis ce printemps, la reconnaissance faciale est testée en France à l'aéroport de Roissy, *"lors du contrôle d'identité avant l'accès à la zone d'embarquement"*, précise Christine Riveau, directrice du programme Air-Transport à la division sécurité de Safran – sa filiale, Morpho, a développé le logiciel. Plusieurs photos sont prises pour reconstituer le visage en 3D, puis les algorithmes identifient une centaine de points d'intérêt (largeur entre les iris, taille de la mâchoire…) afin de les comparer avec la photo du passeport. Le tout en moins de dix secondes.

"Le taux d'erreur d'un contrôle traditionnel d'identité est de 20 %, dévoile Christine Riveau. *La reconnaissance faciale fait chuter ce taux à moins de 5 %."* Ce qui aurait empêché Adel Kermiche, l'un des terroristes de Saint-Etienne-du-Rouvray, d'utiliser les papiers de son cousin pour rallier la Turquie en mai 2015.

"Nous développons aussi des technologies de reconnaissance de l'iris fonctionnant à une distance de 15 m, et de détection d'empreintes sans contact, souligne Philippe Mouttou, directeur adjoint des études amont sécurité chez Thales. *Imaginez un contrôle d'identité où l'iris doit correspondre au visage, qui doit correspondre aux empreintes, qui doivent correspondre au passeport : il serait impossible de falsifier son identité."*

Ces technologies peuvent par ailleurs se révéler utiles en cas d'enquête : malgré la faible résolution des caméras de surveillance de l'aéroport, c'est le logiciel de reconnaissance faciale du FBI qui a identifié après coup "l'homme au chapeau" des attentats de Bruxelles comme étant Mohamed Abrini, également accusé d'avoir préparé les attentats de Paris.

Surveillance de masse

Mais c'est surtout dans la surveillance de masse, par exemple dans les zones accessibles sans contrôle d'un aéroport, que la reconnaissance faciale dévoile tout son potentiel. *"Les logiciels sont maintenant capables de 'scanner' en temps réel les visages de plusieurs individus en mouvement*, développe Christine Riveau. *En quelques secondes, ceux-ci sont comparés à une base de données et le logiciel délivre un pourcentage de concordance. S'il y a un 'match', il est possible de suivre automatiquement la personne grâce aux caméras. Nous allons équiper un aéroport du Moyen-Orient avec ce moyen de surveillance. En France, la loi ne permet pas de relier le logiciel avec le fichier des personnes recherchées ou fichées S."*

Pas encore, du moins. Car un projet de loi a été déposé le 6 juillet afin d'autoriser l'intégration des fiches S dans les logiciels de reconnaissance faciale.

Cela aurait-il empêché les attentats ? *"Tout dépend de la base de données"*, répond Christine Riveau. Recherchés au moment des faits, les auteurs des attentats de Belgique auraient pu être détectés par une hypothétique reconnaissance faciale de masse à l'aéroport.



NeoFace Watch

Fonction : reconnaissance automatique des visages en temps réel

Atouts : sa rapidité de traitement et son faible taux d'erreur

Mais le chauffeur de Nice ne faisait pas l'objet d'une fiche S, et n'aurait donc pas fait sonner d'alerte.

Alors, faut-il associer à ces logiciels la plus grande base de données possible ? Pas si sûr… *"Toutes les alertes sont traitées par des personnes physiques qui doivent, elles, estimer leur dangerosité"*, explique Philippe Mouttou. Avec une énorme base de données, le véritable risque peut donc être de se retrouver noyé sous les faux positifs. *"C'est pourquoi nous développons aussi un logiciel qui reconnaît automatiquement les situations anormales, comme une bagarre ou la présence répétée d'un camion sans autorisation, par exemple"*, conclut le spécialiste. **T.C.-F.**

Face à une cible difficile à localiser

Des minidrones espions capables de se faufiler partout

Pour jeter un œil dans un couloir ou dans une pièce où se seraient réfugiés des terroristes sans se faire repérer, les forces de l'ordre misent sur des mini-espions volants capables de se faufiler partout. Les équipes du RAID et du GIGN se seraient d'ores et déjà équipées de minidrones de dernière génération spécialement adaptés aux missions d'observation en intérieur.

Leur choix se serait porté sur le Black Hornet ("frelon noir") du norvégien Prox Dynamics, l'un des plus furtifs. L'appareil, de 16 cm de longueur, tient dans la main et ne pèse que 18 g. Ce qui ne l'empêche pas d'être doté d'une caméra pour retransmettre des images (au besoin infrarouges) en HD sur l'écran de l'opérateur, jusqu'à une distance de 1,6 km.

Discrets et autonomes

Un moteur électrique rend l'appareil presque totalement silencieux, et lui garantit une autonomie de fonctionnement d'environ vingt-cinq minutes, largement suffisante pour inspecter une pièce avant de lancer un assaut.

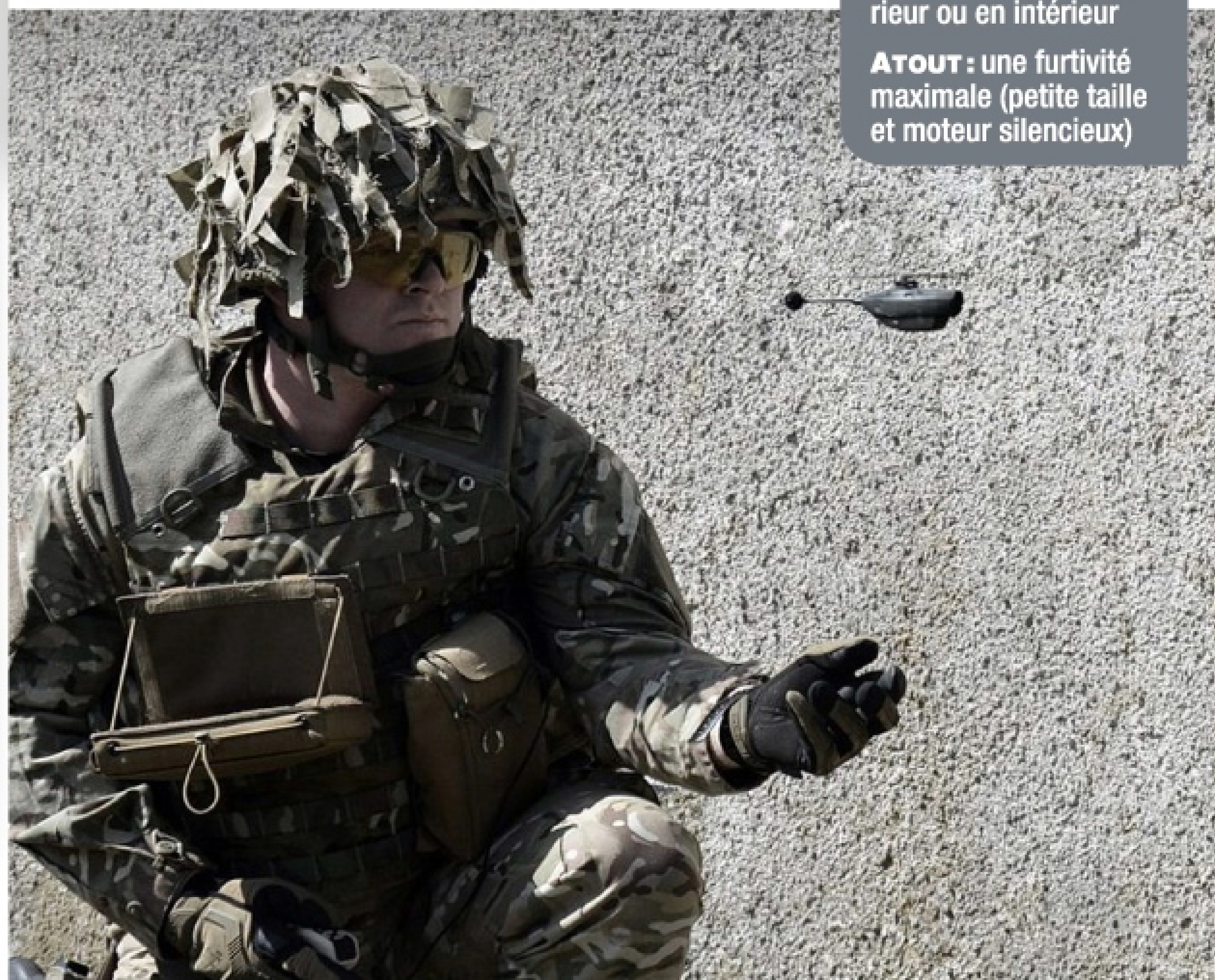
Ces performances lui ont déjà permis d'être sélectionné et utilisé sur le terrain en Afghanistan par l'armée anglaise, et d'être testé par des unités d'élite américaines, comme celles des opérations spéciales de l'US Marine Corps.

Mais ce n'est qu'un début : dans les laboratoires (notamment ceux de la Darpa, l'Agence pour les projets de recherche avancée de défense américaine), les militaires travaillent déjà sur la prochaine génération de drones, encore plus petits et discrets : des microdrones de la taille et de la forme d'insectes (bourdons, libellules… lire *S&V* n° 1185) pour encore mieux observer sans se faire voir. **F.L.**

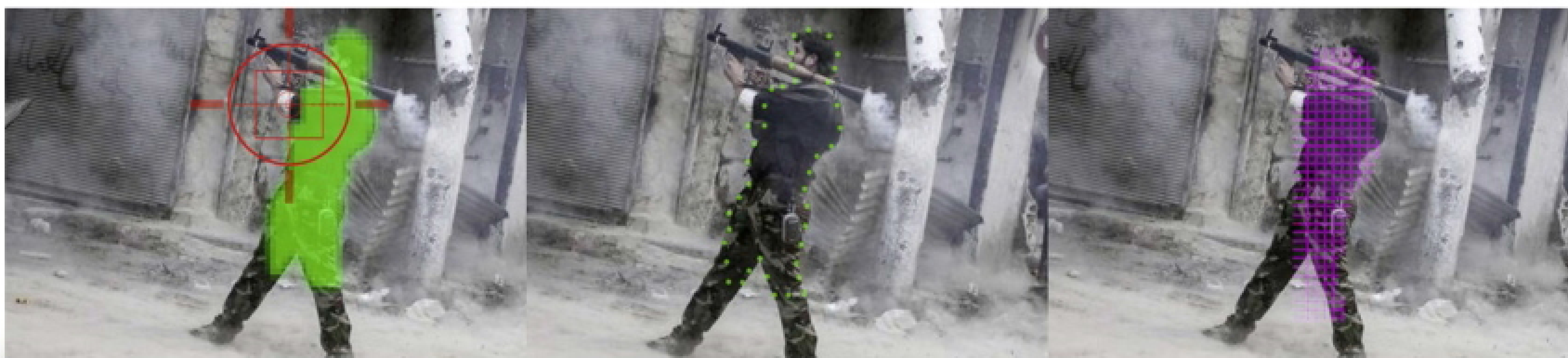
Black Hornet

Fonction : missions d'observation en extérieur ou en intérieur

Atout : une furtivité maximale (petite taille et moteur silencieux)



NEC - PROX DYNAMICS



Face à un danger imminent

Des robots plus précis que des snipers

Le 7 juillet, à Dallas, la police a envoyé un robot monté sur chenilles, le Remotec Andros MkV, tuer un forcené retranché en faisant exploser la charge dont il était équipé. Ce détournement – et le sacrifice – d'un engin habituellement utilisé pour de délicates opérations de neutralisation d'objets piégés est une première mondiale.

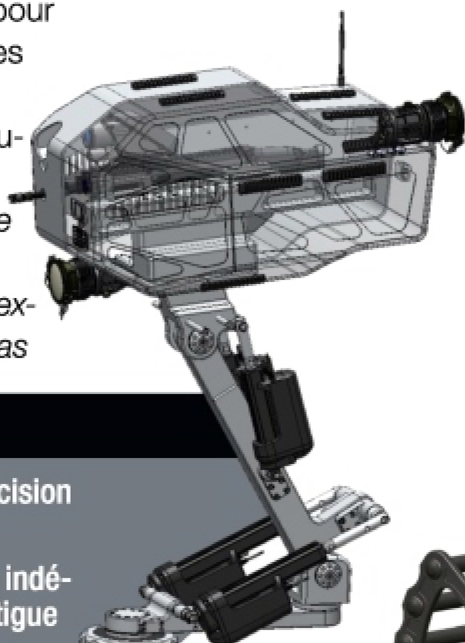
Utiliser un robot terrestre pour aller "au contact" est toutefois loin de faire l'unanimité, notamment en France, pour des questions éthiques et morales. Que les spécialistes de la sécurité préfèrent remiser au second plan. *"Face à la menace de terroristes prêts à se faire exploser, il ne faudrait pas que ces questions mettent inutilement en danger des policiers"*, estime Frédéric Gallois, commandant du GIGN de 2002 à 2007.

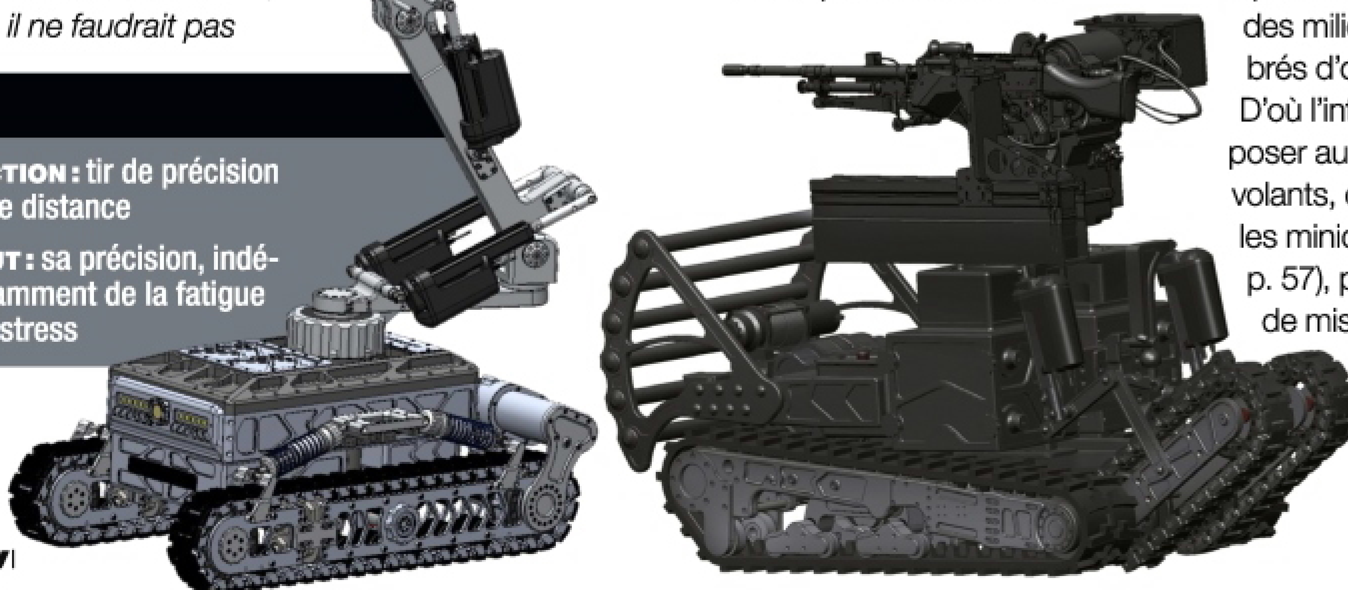
Si les groupes d'intervention français n'ont pas sauté le pas, les industriels, eux, sont prêts. *"Les machines téléopérées permettent en général de réaliser des actes précis"*, vante le responsable du projet Snibot, porté par la PME française Tecdron. "Snibot" est la contraction de "sniper" et "robot" : il s'agit d'un bras robotisé doté de plusieurs degrés de liberté, monté sur une plateforme mobile et porteur d'un fusil à lunette dont l'emploi se conjugue à un système de pointage de très haute précision. Le tir (aussi efficace de jour que de nuit) reste contrôlé par un opérateur installé devant une console.

Ni stress ni fatigue

Ces technologies, dites de TPAO (tir de précision assisté par ordinateur), présentent des avantages que n'ont pas les meilleurs tireurs humains : possibilité de bloquer le tir quand les zones vitales sont visées, suivi automatique des cibles ou repointage de l'arme sur la cible après chaque tir par comparaison d'images. Le tout avec un diamètre de dispersion inférieur à 20 mm à 200 m avec une munition "haut de gamme". *"Ce niveau de précision offre la possibilité de choisir de neutraliser un individu en le blessant plutôt qu'en l'éliminant*, souligne son concepteur. *Un tireur humain très entraîné peut également le faire, mais il y a toujours cette part d'inconnu due au stress et à la fatigue en opération."*

Si l'emploi de robots pour tuer fait débat, leur utilisation pour la reconnaissance ou la surveillance est quant à elle pleinement entrée dans les mœurs au sein des groupes de sécurité : il suffit de les équiper de caméras. Leur seul point faible : leur manque de discrétion et de mobilité quand il faut évoluer entre quatre murs, dans des milieux encombrés d'obstacles. D'où l'intérêt de disposer aussi de robots volants, comme les minidrones (lire p. 57), pour ce type de mission. **F.L.**





Fonction : tir de précision longue distance

Atout : sa précision, indépendamment de la fatigue et du stress

TECDRON - TENCATE ADVANCED ARMOUR - GATECRASHER/ALFORD

Face à des hommes lourdement armés

Des protections allégées et plus mobiles

En matière de bouclier (leur meilleure protection), les unités françaises se sont équipées en 2014 du Targa-light de la société iséroise Ten-Cate Advanced Armour. Ce bouclier en polyéthylène et céramique haute performance se porte au bras et ne pèse "que" 17 kg – plus pratique pour grimper des escaliers et franchir des obstacles que les matériels plus anciens, qui pesaient 22 kg et se déplaçaient sur des portiques mobiles. Les boucliers récents peuvent aussi être souples et équipés de caméras et de lumières aveuglantes.



TARGA-LIGHT

FONCTION : protection balistique (face à un fusil d'assaut type Kalachnikov)

ATOUT : sa légèreté (17 kg)

Exosquelettes à l'étude

Le poids des tenues de protection a également été revu à la baisse, et contenu à une quarantaine de kilos environ. Pour allier (relative) légèreté et tenue mécanique, les gilets pare-balles récents (15 kg en moyenne) combinent des assemblages souples de Kevlar et de polymères sur les épaules et les flancs avec des plaques rigides en céramique sur le ventre et dans le dos. De nouvelles protections souples en Kevlar permettent par ailleurs de couvrir les jambes, très exposées en intervention.

Une protection dite balistique est capable de stopper une munition de calibre 7,62 mm tirée par un fusil d'assaut type Kalachnikov. Un casque balistique, pesant de 4 à 5 kg, avec une visière transparente de 30 à 40 mm d'épaisseur, offre une protection assez similaire pour le visage.

A plus long terme, les techniciens planchent sur des exosquelettes qui permettraient de soulager l'homme de cette cuirasse blindée: leur structure articulée et motorisée accompagnerait ses mouvements tout en portant les diverses charges liées à sa protection. Une innovation qui pourrait changer la donne sur le terrain. F.L.

Face à des hommes barricadés

Des techniques d'effraction plus rapides et efficaces

Du côté du crochetage de porte apparaissent des techniques prenant en compte l'intégration de l'électronique dans les serrures. Ils sont basés sur l'interception préalable, à distance, des signaux de commande. Pour faire des brèches dans les murs, les dernières innovations en date ont recours à des charges creuses combinées à des poches d'eau (ou de tout autre liquide incompressible). L'onde de choc générée par l'explosif projette une lame d'eau à très haute vélocité, permettant de découper l'obstacle à l'endroit voulu, en limitant les risques de dégâts collatéraux. F.L.



GATECRASHER

FONCTION : ouverture de brèches

ATOUT : une découpe précise pour des murs jusqu'à 50 cm d'épaisseur

Face à la prolifération des drones

Des moyens inédits de détection et de neutralisation

Les survols de centrales nucléaires, d'aéroports ou de stades par des drones ont convaincu de la nécessité de parer rapidement à cette nouvelle menace. Fin 2015, le Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale a précisé les choses : il y a danger dès que le drone atteint 1 kg et peut emporter une caméra et une charge explosive de la taille d'une grenade. Ce qui concerne une grande partie des appareils destinés aux professionnels (mesures, prises de vues…).

Premier enjeu : détecter les drones. Plusieurs technologies sont en compétition, dont la détection acoustique (employée par le DroneTracker de l'allemand Dedrone, capable de surveiller une portion de ciel d'environ 120° x 90° avec une profondeur d'écoute de plusieurs dizaines de mètres) ou la combinaison radar-caméras de détection optique, en lumière visible et infrarouge (solution choisie par de nombreuses sociétés).

Une fois détectés, ces drones doivent être neutralisés, par exemple en brouillant les fréquences des systèmes de pilotage, de navigation GPS ou de liaison vidéo. Le SkyWall 100, aux faux airs de lance-roquette, projette quant à lui un filet à plus de 100 m pour capturer sa proie. Autre option originale : la police néerlandaise dresse des rapaces pour capturer les drones et les ramener au sol. **F.L.**



SKYWALL 100

FONCTION : capture de drones à l'aide d'un filet

ATOUT : son insensibilité aux blindages antibrouillage

Face à la menace chimique, nucléaire…



AP4C ET MAB

FONCTION : détection des menaces chimiques et biologiques

ATOUT : leur petite taille, adaptée à une utilisation de terrain

OPENWORKS ENGINEERING - PROENGIN - MIKA-GIGN

Des détecteurs portatifs contre les

Même si les derniers événements en date n'ont pas impliqué de menace dite NRBC (nucléaire, radiologique, biologique ou chimique), les groupes d'intervention sont tous équipés face à ce risque. Il y a eu des précédents : l'attaque au gaz sarin dans le métro de Tokyo en 1995 (12 morts) et les lettres empoisonnées à l'anthrax envoyées à plusieurs médias américains à l'automne 2001 (5 victimes) ont provoqué une prise de conscience.

En temps réel

Face à la menace chimique, deux techniques sont principalement utilisées. La plus répandue est l'IMS (spectrométrie de mobilité ionique) : un petit appareil portatif aspire et filtre l'air ambiant ; il délivre des résultats en temps réel, mais ne fonctionne que si la signature de la molécule aspirée est déjà en mémoire.

La spectrométrie de flamme consiste, elle, à brûler les molécules à plus de 2000 °C afin de repérer les "ingrédients" des armes chimiques (phosphore, soufre, arsenic…). *"L'enjeu est de détecter ces produits à très faible concentration*, souligne Cécile-Maria Wietzke, ingénieur chimiste spécialiste de ces risques. *Les détecteurs*



Face à des ennemis retranchés

De nouveaux véhicules blindés à échelle d'assaut

On l'a découvert en janvier 2015 lors de l'assaut contre les frères Kouachi : le GIGN dispose de véhicules blindés capables d'emmener un groupe d'assaut au-dessus d'un mur ou au premier étage d'un bâtiment. Comme le Sherpa Light APC de Renault Trucks, conçu pour pouvoir atteindre, grâce à sa rampe d'accès hydraulique, le pont supérieur d'un Airbus A380, à 10 m du sol. Deux de ces blindés sont actuellement en service. Pour le transport de ses unités de réaction immédiate, le GIGN vient aussi de recevoir les premiers exemplaires de la version blindée du Toyota Land Cruiser 200.

Le RAID équipe quant à lui ses antennes régionales de PVP Renault Trucks, des "petits véhicules protégés" compacts, lourdement blindés et capables d'embarquer six équipiers. Ils pourraient servir de *"bélier des cent derniers mètres"*, selon un équipier du groupe d'élite. Neuf ont été commandés et livrés.

Les unités regardent également du côté du 6x6 Titus de Nexter, un camion blindé de 26 t qui peut emporter jusqu'à treize hommes. Conçu pour un emploi militaire, il est équipé d'une lame de déblayage, de caméras de surveillance sur 360°, d'une rampe lumineuse… Un engin aussi dissuasif que puissant, mais dont le prix (proche du million d'euros) fait pour l'instant reculer les forces de l'ordre. **F.L.**

SHERPA LIGHT APC

FONCTION : transport de groupes d'assaut

ATOUT : sa rampe d'accès utilisable jusqu'à 10 m de haut

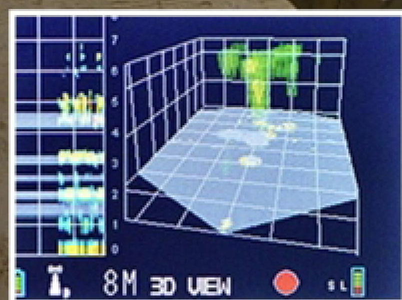


bombes "sales"

les plus performants ont une sensibilité inférieure au ppm [partie par million]. *Sachant qu'une tête d'épingle de gaz sarin suffit à tuer un homme de 80 kg…"*

Ce type d'appareil était jusqu'ici trop imposant pour être transporté, mais le français Proengin propose un détecteur portatif AP4C ; les services d'intervention en sont équipés.

Quant aux autres armes "sales", les produits radioactifs sont les plus faciles à repérer : un compteur Geiger suffit. La menace biologique est bien plus complexe, car il n'existe aucune méthode rapide pour distinguer un agent pathogène. Reste que la fabrication d'une arme biologique s'avère très difficile… En clair : les services de renseignements misent sur le fait que la préparation d'un tel attentat ne pourrait pas passer inaperçue. **F.L.**



Face à des obstacles physiques

Des radars pour voir à travers les murs

Voir à travers les murs : tel est le superpouvoir du Xaver 400 de la firme israélienne Camero, qui équipe aussi bien le GIGN que le RAID. Une capacité tactique décisive avant d'entrer dans une pièce, pour connaître la position de l'adversaire et d'éventuels otages.

Ce qui a longtemps été un fantasme a pris forme à petits pas avec la conception de radars assez compacts pour être tenus à bout de bras, et optimisés pour "voir" à travers les matériaux opaques. Du bois au béton armé, du plus simple au plus compliqué… La technique employée est aussi vieille que celle du radar : envoi d'une onde électromagnétique, réception de son écho et analyse de ce dernier pour, *in fine*, détecter et localiser des individus.

Si les prototypes et les effets d'annonce foisonnent, peu d'équipements sont au stade de maturité du Xaver 400. Ce boîtier relativement léger (moins de 4 kg) doit être plaqué contre une paroi pour détecter ce qui se trouve derrière – il peut, selon son constructeur, "voir" un individu jusqu'à plus de 10 m derrière un mur en béton. Il pointe aussi les échos en mouvement et sait faire la différence entre mobilier et personne vivante, même immobile, grâce aux mouvements dus à la respiration.

Ils repèrent même les armes camouflées

Pour parvenir à ce résultat, Camero fait appel à la technologie des impulsions dans les hyperfréquences, comprises entre 500 MHz et 10 GHz, les seules à même de passer à travers les matériaux avec un niveau de précision suffisant. Mais l'emploi de ces fréquences et la physique du radar imposent un haut niveau de puissance ainsi qu'une émission "propre" (stable et dépourvue de signaux parasites).

Autre défi : la puissance de calcul nécessaire pour corréler signal émis et signal reçu. C'est ainsi que l'affichage des appareils actuellement en service exige encore une bonne dose d'interprétation de la part de l'opérateur, avec une présentation en deux dimensions des échos détectés. L'ensemble rappelle les jeux d'arcade des années 1980…

D'autres radars permettent également la détection

CAMERO TECH - HK - NOVITACT_FEELTACT



Xaver 400

Fonction : détection de présence à travers les murs

Atout : un encombrement réduit pour une portée maximale de 20 m

à distance d'objets camouflés sous des vêtements (armes, explosifs…) en jouant là aussi sur la différence de densité des matériaux détectés. La société américaine Rapiscan Systems a développé un système, baptisé CounterBomber, pour prévenir les attentats-suicides contre les bâtiments et les installations fixes. La détection de la menace peut se faire automatiquement à distance de sécurité, mais un opérateur peut également prendre la main en sélectionnant les personnes à surveiller. Le système, qui pèse 113 kg et mesure 1,83 m, est actuellement testé en opération par les forces américaines. F.L.

Face à des situations de tirs

Des fusils plus puissants

Face à des terroristes souvent équipés d'armes de guerre et de gilets pare-balles, les groupes d'intervention ont décidé de changer de calibre : fini les pistolets-mitrailleurs, place aux fusils d'assaut plus puissants. Début 2016, le GIGN s'est doté de fusils allemands Heckler & Koch HK416 et HK417. La montée en gamme concerne également les policiers et gendarmes en région.

Pas de révolution technique, mais des évolutions visant à améliorer le compromis poids-puissance tout en gardant l'ascendant sur l'adversaire. D'où le recours, autant que possible, à des matériaux légers (aluminium, titane, composites ou polymères peu denses). L'arme doit également être la moins encombrante possible, et permettre une visée correcte à l'épaule malgré le casque balistique et son épaisse visière. F.L.



Heckler & Koch HK416

Fonction : fusil d'assaut

Atout : sa puissance de feu, supérieure à celle des pistolets-mitrailleurs

Face à des réseaux saturés

Des moyens de communication plus fiables

Confrontés à la saturation des réseaux en cas d'attentat, les groupes d'intervention français disposeront d'ici à la fin de l'année d'équipements permettant la mise en place de "bulles" 4G temporaires, sur des fréquences réservées aux utilisateurs gouvernementaux. Soit un émetteur tenant dans un caisson, éventuellement complété par des antennes relais mobiles, qui permet la diffusion de vidéos en temps réel sur les smartphones dotés de cartes SIM spécifiques.

D'autres innovations facilitent la communication sur le terrain, malgré le bruit ambiant (tirs…) et en toute discrétion. C'est le cas du bracelet Feeltact, développé par le français Novitact et testé dans les forces spéciales des armées françaises. Il permet par un simple contact d'émettre des messages personnalisables ("en position", "à l'assaut"…) et d'en recevoir sous la forme de vibrations, mais aussi de géolocaliser son porteur et d'écouter son environnement grâce à un micro. Le tout sans limite de distance, les signaux étant relayés par un smartphone connecté en Bluetooth. F.L.

Feeltact

Fonction : communication tactile entre équipiers

Atout : messages silencieux et insensibles au bruit ambiant



À LA UNE

VERS UNE NOUVELLE DOCTRINE DE L'ANTITERRORISME

Face à l'hyperterrorisme, multiplier les moyens ne suffit plus. Une nouvelle doctrine de la prévention et une réorganisation des forces sur le terrain s'imposent. Objectif: être le plus rapide.



L'éternelle course entre la cuirasse et l'épée… De longue date, l'évolution des modes d'action des terroristes a débouché sur l'adaptation des moyens destinés à affronter cette menace.

C'est en réponse aux détournements d'avions et aux prises d'otages, à partir des années 1960 (notamment le massacre d'athlètes israéliens aux jeux Olympiques de Munich, en 1970) qu'ont été créées les unités spécialisées dans la lutte antiterroriste, comme le GIGN, né en 1972.

Idem pour les attentats du 11 septembre 2001. Cette attaque sans précédent réalisée par une organisation nébuleuse et sans territoire a marqué l'entrée dans une nouvelle ère: celle de "l'hyperterrorisme". Elle a révélé les failles des services américains et remis en cause leur doctrine qui, à l'époque, privilégiait les systèmes d'écoutes informatiques au détriment des opérations de terrain (infiltration, espionnage…). Ce qui a poussé à développer une plus grande coopération européenne en matière de lutte antiterroriste: le réseau Atlas, créé fin 2001 pour éviter qu'un tel événement se produise sur le Vieux Continent, regroupe les principales unités d'intervention des pays de l'Union européenne.

Depuis, la course s'est accélérée. Surtout avec deux prises d'otages en Russie, celle du théâtre de Moscou en 2002, suivie deux ans plus tard par celle de l'école de Beslan. Si l'une et l'autre ont fait naître le concept de "prise d'otages massive" (POM, dans le jargon sécuritaire), la seconde est unique dans les annales: une trentaine de terroristes tchétchènes et plus d'un millier d'otages, dont plusieurs centaines d'enfants. Après trois jours de siège, l'assaut mené par les forces russes s'est soldé par la mort de plus de 300 civils, selon les chiffres officiels. Fallait-il lancer l'assaut? Comment? Beslan reste un cas d'école.

LE PRINCIPE DU PRIMO-INTERVENANT

Les derniers événements en date n'échappent pas à la règle. En réponse aux attaques de *Charlie Hebdo,* début 2015, des moyens supplémentaires ont été déployés. Dans le cadre des opérations Vigipirate puis Sentinelle, la France mobilise jusqu'à 10000 militaires. Mais le 13 novembre 2015, à Paris, ce bouclier n'a pas suffi. Ni à Nice, le 14 juillet dernier…

Dès l'été 2015, l'adoption de la loi relative au renseignement avait initié une évolution de la doctrine de prévention. Au programme: près de 270 millions de crédits de fonctionnement et d'équipement jusqu'en 2017, pour permettre, selon le texte, de *"réinvestir massivement le champ du renseignement territorial qui, en matière de prévention du terrorisme, avait été particulièrement fragilisé par la réforme des Renseignements généraux de 2008"*. L'effort s'est accompagné de la création de 1100 postes alloués aux différents services du renseignement intérieur chargés de lutter contre le terrorisme: la DGSI, le service central du renseignement territorial et la direction du renseignement de la préfecture de police de Paris. De nouvelles possibilités d'écoute et de surveillance des réseaux ont aussi été ouvertes, non sans faire débat… (voir encadré p. 66).


S.PLATT/GETTYIMAGES/AFP

L'ÈRE DE L'HYPERTERRORISME

11 SEPTEMBRE 2001 La chute des tours jumelles de New York marque l'entrée dans l'ère de l'hyperterrorisme. Il faut faire face à un nouvel ennemi, une nébuleuse sans tête et sans territoire.

3 SEPTEMBRE 2004 La prise d'otages de plus d'un millier de personnes dans une école russe, à Beslan, se solde par 300 victimes civiles. Cet événement marque le début de la notion de “prise d'otages massive”.

13 NOVEMBRE 2015 Moins d'un an après celles de *Charlie Hebdo* et de l'Hyper Cacher, les attaques de Paris (Bataclan, terrasses de café…) révèlent un terrorisme paramilitaire, sans espace de négociation. Il faut désormais intervenir le plus vite possible, avant même l'arrivée des unités spécialisées.

14 JUILLET 2016 Le massacre de Nice, à l'aide d'un “simple” camion, ou celui de l'église de Saint-Etienne-du-Rouvray, à l'arme blanche, douze jours plus tard, révèlent les défis que pose aux services de renseignement la détection des profils susceptibles de pratiquer ce terrorisme “low cost”.

Un des défis est de savoir comment s'adapter aux actions liées à l'idéologie de Daesh, qui ne sont plus revendicatives, mais visent simplement à infliger le plus grand nombre de victimes. *“Par le passé, il fallait commencer par comprendre le message des terroristes pour ouvrir un espace de négociations,* rappelle Camille Grand, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique. *Aujourd'hui, avec une organisation comme Daesh, cet espace n'existe pas.”*

Un mode d'action qui force encore une fois à s'adapter. L'attentat du Bataclan fait ici figure de cas d'école. C'est un commissaire de la BAC (Brigade anticriminalité) accompagné de l'un de ses hommes qui, le premier, intervient dans la salle de spectacle. Les deux policiers ne sont équipés que de leur arme de poing, mais leur irruption parvient à détourner les terroristes du massacre en cours. L'initiative, courageuse, sauve alors sans doute la vie de nombreuses personnes.

Cette situation, aux antipodes d'une prise d'otages traditionnelle, a débouché sur une nouvelle doctrine: celle du primo-intervenant. Sans attendre les groupes d'intervention, les premiers agents confrontés à une telle situation doivent désormais intervenir dès que possible pour détourner les terroristes de leurs victimes. *“Par le passé, nous commencions par placer nos appuis et lancer une négociation,* explique-t-on au GIGN. *Ce n'est plus possible aujourd'hui, il nous*

faut directement aller au contact, dès notre arrivée sur les lieux."

Le plan d'action immédiat du GIGN, annoncé en avril dernier, prévoit qu'une vingtaine de gendarmes d'élite soient maintenus en alerte 24h/24 en Ile-de-France. Ils sont basés à Satory (Yvelines), à proximité de Villacoublay, où stationnent avions et hélicoptères de transport. Ce groupe évoluait d'un bloc par le passé. Aujourd'hui, il est fractionné en quatre équipes de cinq gendarmes pouvant être engagées de façon autonome et rapide en différents lieux, en attendant les renforts – en l'occurrence la mobilisation de 150 équipiers en moins de deux heures.

En province, le ministre de l'Intérieur promet que tous les Français se trouveront bientôt à moins de vingt minutes d'une force d'intervention rapide. Des antennes régionales sont d'ores et déjà créées et des unités de niveau intermédiaire reçoivent actuellement un entraînement (BAC pour la police, PSIG Sabre pour la gendarmerie). Une procédure d'urgence absolue est également ouverte, qui prévoit qu'en cas de péril imminent, les zones de compétences territoriales soient suspendues (historiquement, RAID et GIGN n'interviennent pas sur les mêmes parties du territoire). Les unités les plus proches du lieu de crise pourront donc désormais intervenir sans guéguerres territoriale et administrative.

LE CONTRE-TERRORISME FACE AUX LIBERTÉS

Les pays occidentaux partagent à peu près la même conception des libertés individuelles et le même souci de les préserver. Ce qui n'empêche pas un basculement des opinions publiques en faveur d'arsenaux législatifs et judiciaires plus restrictifs. *"Confrontée à une menace omniprésente, la population devient favorable à un renforcement de l'outil sécuritaire, même au prix d'entorses aux libertés"*, note Camille Grand, directeur de la Fondation pour la recherche scientifique. A l'instar du Patriot Act américain voté après le 11 Septembre, l'arsenal législatif contre le terrorisme se traduit parfois par un pouvoir renforcé des forces de l'ordre et de la justice, au détriment des libertés. La vidéosurveillance, si décriée, se banalise; l'utilisation massive d'outils de renseignement électroniques qui était l'apanage des Etats-Unis gagne l'Europe; en France, la loi sur le renseignement votée en 2015 autorise l'Etat à utiliser des logiciels espions et des dispositifs d'écoute des connexions… Sans oublier l'état d'urgence. *"Toute la difficulté est de savoir gérer dans le temps le caractère exceptionnel de ces solutions*, tempère Camille Grand, rappelant que le camp de Guantanamo est toujours en activité malgré la volonté de Barack Obama de le fermer. *Comment protéger notre société sans lui faire perdre son âme, voilà le vrai défi."*

UNE LOGIQUE DE "CHASSE À L'HOMME"

Le GIGN est aujourd'hui en mesure d'aligner 380 hommes, dont deux tiers pour les interventions et un tiers pour le soutien. A cela s'ajoutent les 500 hommes du RAID et de la BRI (Brigade de recherche d'intervention).

Autre enseignement: *"Nous sommes désormais dans des logiques de chasse à l'homme,* explique un expert du ministère de l'Intérieur, *avec des enquêtes qui débutent en même temps que l'assaut, parfois même avant. Les forces de l'ordre vont devoir développer leurs capacités d'analyse rapide des matériels informatiques saisis, y compris en contournant les éventuels cryptages et sans détériorer les éléments de preuve judiciaire. Un groupe travaille actuellement à définir les outils, techniques ou juridiques, à mettre en œuvre."*

Autre signe des temps, le commerce en ligne facilite l'accès à des équipements qui étaient jusqu'alors l'apanage des acteurs étatiques: jumelles de vision nocturne, gilets pare-balles, logiciels de cryptage, drones, pointeurs laser… Et des technologies comme l'impression 3D offrent la capacité de fabriquer des armes à domicile. Face à ces nouvelles menaces, comment garder l'ascendant? *"En investissant massivement dans la recherche et le développement au profit de la filière sécurité,* répond Frédéric Gallois, commandant du GIGN de 2002 à 2007. *Il y a un fossé entre le budget de la Défense, les coûts de développement d'équipements militaires très perfectionnés et ce qui est consacré au traitement de la menace intérieure et à l'équipement des groupes d'intervention. Les investissements restent beaucoup trop faibles, sans stratégie d'ensemble."* RAID et GIGN disposeraient d'un budget de fonctionnement total d'environ 4 millions d'euros par an. Soit le prix d'un seul des 630 véhicules blindés de combat d'infanterie (VBCI) dont dispose l'armée de terre.

Pour la première fois, un programme d'investissements d'avenir consacré à la sécurité est en cours de définition. Dans le même temps, l'Agence nationale de la recherche s'implique dans les questions de sécurité, comme le programme européen Horizon 2020 qui comporte aussi un volet sécurité. Autre signe qui ne trompe pas: la place croissante prise par les industriels de la sécurité au salon Eurosatory, traditionnellement consacré aux équipements militaires. Aujourd'hui plus que jamais, la course entre la cuirasse et l'épée est lancée. **F.L.**



A consulter: les présentations des algorithmes et matériels détaillés ici et une sélection d'articles sur l'étude des réseaux.
A regarder: des vidéos d'entraînement des unités d'intervention équipées de ces matériels.

EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com

& Science découvertes

NASA - SHUTTERSTOCK - NASA/CXC/SAO - GETTY/FOTOLIA

La particule X n'existe pas LE CHOC!

Stupeur au LHC : la particule censée avoir été détectée il y a neuf mois… n'était qu'un mirage. Or, elle représentait une occasion inespérée de pouvoir dépasser le modèle standard. Pour **Mathieu Grousson**, voici la physique face à son mur.

Contexte

Rendues publiques le 15 décembre 2015, les données qui ont fait croire à l'existence d'une particule inconnue ont mis en ébullition tous les spécialistes du domaine pendant six mois. *S&V* y a consacré sa une en mai, avec le sentiment de partager avec le lecteur un moment rare, où tout pouvait basculer. Tout cela n'aura été qu'un leurre, qui restera, à n'en pas douter, dans les annales de l'histoire des sciences.



"C*'est un cauchemar." "Un coup de poing dans la figure." "Une gueule de bois."* Chez la plupart des physiciens interrogés, les réactions traduisent un état d'hébétude et de profonde déception.

Car le 5 août, les espoirs ont été définitivement douchés. Lors de la 38e Conférence internationale sur la physique des hautes énergies, à Chicago, les équipes d'Atlas et de CMS – deux expériences en cours au LHC, l'accélérateur de particules du Cern, près de Genève – ont annoncé que la particule X n'était qu'un mirage.

Tout avait pourtant commencé sous les meilleurs auspices. Le 15 décembre 2015, la planète physique s'enflammait à l'idée que les données collectées au LHC soient compatibles avec la possible existence d'une particule inconnue, non prédite par le modèle standard, l'actuelle théorie de l'infiniment petit. Une possibilité renforcée en mars à la suite de nouvelles analyses.

Jamais un signal ne s'était manifesté à ce niveau d'intensité et simultanément dans deux détecteurs indépendants. Il avait déclenché un enthousiasme inouï et la publication,

△ UN ÉTRANGE SIGNAL… QUI S'EST VOLATILISÉ
En 2015, les données issues des collisions au sein de l'accélérateur du Cern faisaient apparaître un signal ayant de très fortes chances de correspondre à une nouvelle particule. Las, dans les données recueillies cette année, le signal s'est évanoui…

GETTY/FOTOLIA

en quelques mois, de pas moins de 500 articles commençant à explorer les conséquences de cette possible révolution.

Certains physiciens étaient même déjà prêts à sabrer le champagne! D'où notre décision, à *Science & Vie*, et sous ma plume, de consacrer à ce sujet la une de notre numéro de mai. Certes, nous soulignions dans ce dossier le caractère encore hypothétique de cette particule, mais, étant donné l'effervescence dans la communauté physicienne, nous vous invitions à vous projeter dans le nouveau monde que sa possible existence semblait dévoiler.

Las, les données de 2016 ont tranché: la particule X n'était qu'une simple fluctuation, désormais évaporée. Comment est-ce possible? Y a-t-il eu une erreur de calcul ou d'analyse? Un câble mal branché? Même pas. Selon les physiciens, c'est tout simplement la faute à pas de chance. Rappelons que l'équipe d'Atlas avait moins d'une chance sur 20000 de se tromper; celle de CMS moins d'une sur 3000. Et pourtant… Aux dires des spécialistes, le signal de la pseudo-particule X serait la fluctuation statistique *"la plus diabolique"* jamais enregistrée par un détecteur de particules!

PLUS RIEN À DÉCOUVRIR ?

Une très improbable coïncidence qui nous a tous embarqués, physiciens, journalistes et lecteurs, dans une épopée enthousiasmante mais finalement illusoire. *"C'est comme ça que la science fonctionne"*, conclut amèrement Abdelhak Djouadi, au Laboratoire de physique théorique d'Orsay.

La pilule est d'autant plus difficile à avaler qu'aucune annonce spectaculaire n'a par ailleurs été faite à Chicago. Certes, les données vont continuer à s'accumuler à un rythme frénétique dans le creuset du LHC. Et comme l'affirme, confiant, Yves Sirois, physicien au Laboratoire Leprince-Ringuet (Palaiseau) et membre de l'expérience CMS, *"il y a assurément encore de la place pour des découvertes"*.

De plus en plus de spécialistes se préparent cependant à l'éventualité que le colosse genevois ne découvre rien de nouveau. Et ce n'est vraiment pas une bonne nouvelle. *"On ne peut plus ignorer cette possibilité"*, lâche Christophe Grojean, membre du groupe théorique Desy, à Hambourg. *"Cette probabilité augmente sérieusement"*, confirme John Ellis, à la division théorique du Cern. *"L'hypothèse selon laquelle le LHC ne ferait que confirmer le modèle standard est désormais la plus probable"*, tranche son collègue Slava Rychkov. →

Les théoriciens étaient pourtant convaincus que le LHC, eu égard à sa puissance, serait la machine à même de confirmer l'une des nombreuses pistes explorées depuis quarante ans pour dépasser le modèle standard: supersymétrie, dimensions supplémentaires, cinquième force fondamentale…

> Si le LHC ne découvre rien, nous n'aurons pas d'autre solution que de remettre en question des décennies de travaux théoriques
>
> GIAN **GIUDICE**
> Physicien à la division théorique du Cern

De fait, les lacunes de ce modèle standard sont connues: il est incapable de rendre compte de 85 % du contenu en matière de l'Univers; il se casse les dents sur l'absence d'antimatière dans le cosmos; il ne sait pas résoudre le problème de la masse des neutrinos… Autant de mystères qui devaient trouver leur explication dans l'anneau de l'accélérateur géant, sous la forme de particules inconnues. Et pendant plusieurs mois, les spécialistes ont ardemment espéré que le X serait la première d'entre elles.

Et maintenant? *"S'il se confirme que le LHC ne découvre rien, nous n'aurons pas d'autre solution que de remettre en question plusieurs décennies de travaux théoriques visant à dépasser le modèle standard"*, répond sombrement Gian Giudice, lui aussi à la division théorique du Cern.

Du reste, des théoriciens commencent déjà à explorer des possibilités jusqu'alors ignorées ou jugées improbables, dotées de noms abscons comme "*neutral naturalness*", "*twin* Higgs", "solutions dynamiques au problème de hiérarchie"…

> ADAM **FALKOWSKI**
> Chercheur au Laboratoire de physique théorique d'Orsay
>
> L'avenir de la discipline se jouera peut-être dans de petites expériences très précises plutôt qu'au sein de collisionneurs géants

UN POINT DE RUPTURE

Certains vont même jusqu'à remettre en cause cette vieille idée, centrale dans l'histoire de la physique, selon laquelle les lois de la nature résultent de principes simples et puissants, au profit d'approches où l'Univers serait tout entier soumis au hasard. *"Sur le plan purement scientifique, c'est finalement très excitant"*, veut croire Christophe Grojean.

Dans le même temps, c'est potentiellement une période incertaine qui s'ouvre pour la physique des particules. Car sans découverte, *"comment convaincre les décideurs ou nos collègues d'autres disciplines qu'il faut continuer?"*, s'interroge le même chercheur.

Concrètement, comment justifier, par exemple, la mise en projet d'un successeur du LHC si ce dernier ne fait que confirmer le modèle standard durant les vingt prochaines années? Ou, plus simplement, comment continuer à attirer de jeunes étudiants brillants vers la discipline? *"Peut-être que l'avenir se jouera dans de petites expériences très précises plutôt qu'au sein de collisionneurs géants"*, propose Adam Falkowski, au Laboratoire de physique théorique d'Orsay.

En attendant, les expérimentateurs du LHC ne baissent pas les bras et commencent à traquer les manifestations d'une physique "non standard" dans les recoins les plus improbables de la montagne de données produites par leur accélérateur.

Un comble alors que l'expression en vigueur au démarrage du LHC, en 2008, *"just around the corner"* ("tout près"), suggérait que quelques mois suffiraient pour dynamiter le modèle standard!

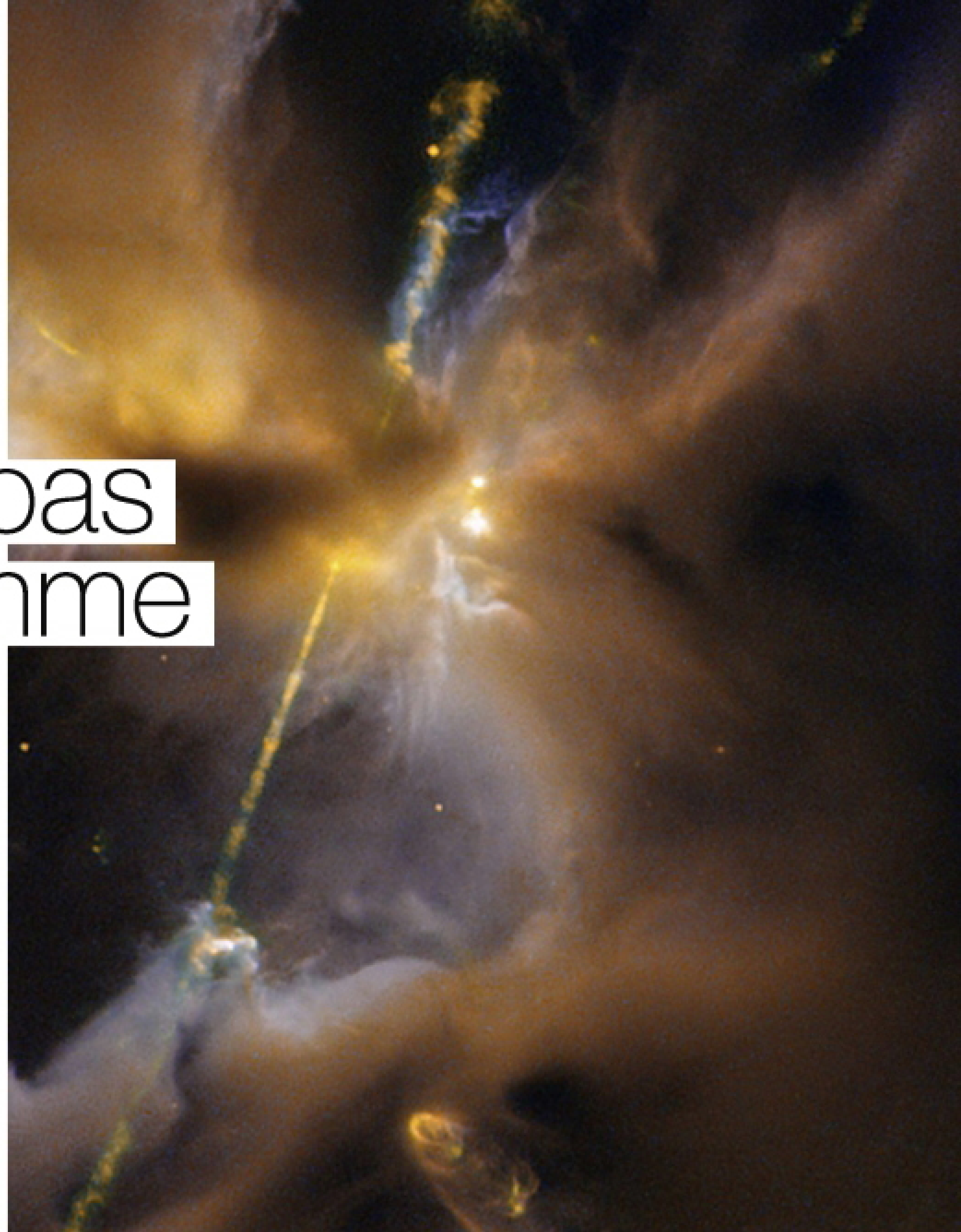
Seule certitude: alors que le X n'est déjà plus qu'un triste et lointain souvenir, son incroyable épopée restera comme un point de rupture dans l'histoire de l'exploration de l'Univers matériel. Sa découverte aurait été une révolution. Passé la gueule de bois, son enterrement ouvre déjà une nouvelle ère.



*** EN SAVOIR PLUS**

A lire : sur notre blog, les détails de cette incroyable épopée.
science-et-vie.com

Non, le Soleil n'est pas une étoile comme les autres !



ESA/HUBBLE & NASA

Dans les météorites, les chercheurs ont trouvé trace de quatre événements cosmiques, tous rarissimes, ayant participé à la genèse de notre astre. De quoi lui tracer un destin hors norme, explique **Benoît Rey.**

Quelle chute ! Longtemps, le Soleil a été considéré comme un dieu. Les civilisations antiques lui accordaient une place unique, une grandeur, une histoire, des ancêtres, des sœurs… Et puis la science moderne l'a descendu de son piédestal. Il est devenu une simple étoile parmi d'autres, boule de feu banale, fondue dans la masse de milliards de petits points blancs semblables de la galaxie. Même son cortège de planètes n'a rien d'extraordinaire…

Sauf qu'en creusant son passé, les astrophysiciens sont en train de réaliser que notre astre déchu n'est finalement pas si commun qu'il y paraît !

Certes, comme toutes les étoiles, le Soleil est une grosse boule de gaz née de l'effondrement sur lui-même d'un nuage galactique riche en hydrogène (voir "Repères"). Mais sa genèse semble avoir été tout à fait singulière, émaillée de nombreux phénomènes improbables. Quatre, plus exactement. Comme autant de fées qui se seraient penchées sur son berceau pour lui forger – ainsi qu'au système solaire – un destin hors du commun.

Ce passé, les scientifiques le lisent dans les pierres. Celles qui, cristallisées près de notre astre juste après sa naissance, ont dérivé jusqu'à échouer sur Terre. Ces météorites renferment en effet des "inclusions réfractaires", des grains microscopiques dont la composition chimique est restée strictement inchangée depuis leur origine. Et, surprise, les chercheurs y ont découvert d'infimes traces d'éléments qui n'avaient rien à faire là !

Repères

Le Soleil est une étoile de 3e génération, née il y a 4,6 milliards d'années de la compression (provoquée par les vents des étoiles de 2e génération) de nuages constitués principalement d'hydrogène : un scénario classique. Sauf que d'autres phénomènes semblent avoir joué un rôle singulier dans sa naissance…

DE SACRÉES COÏNCIDENCES…

Comment expliquer leur présence ? Celle de l'aluminium 26, par exemple ? Détecté dès 1976 dans la météorite d'Allende, caillou de 2 tonnes tombé au Mexique en 1969, cet isotope radioactif de l'aluminium est produit lors de supernovæ, ces explosions

d'étoiles des dizaines de fois plus massives que le Soleil qui arrivent en fin de vie. Or, il se décompose naturellement en magnésium en quelques millions d'années, un laps de temps très court aux échelles astronomiques…

"Pour enrichir suffisamment le système solaire en isotopes radioactifs, il faut que la supernova ait explosé moins de 1 million d'années avant l'effondrement du nuage protosolaire, et à moins de 1 année-lumière de ce nuage, estime Vincent Tatischeff, astrophysicien à l'université Paris-Sud. *C'est très peu par rapport à la taille de la Voie lactée, dont le diamètre est d'environ 80 000 années-lumière."*

Sacrée coïncidence, en effet : selon Matthieu Gounelle, cosmochimiste au Muséum national d'histoire naturelle, la probabilité qu'une supernova soit si proche est de l'ordre de… 0,003.

Mais ce n'est pas tout. Dans les météorites, les chercheurs ont aussi détecté du fer 60. Lui aussi est produit lors de supernovæ. Sauf que les modèles actuels indiquent qu'on devrait en trouver entre 1 et 5 fois plus que d'aluminium 26 ; or, il y en a 1 000 fois moins ! D'où l'idée de Matthieu Gounelle d'imaginer la présence d'une deuxième "fée" tout près du nuage de gaz dans lequel le Soleil était en gestation : une étoile de 30 fois la masse de notre astre, qui, en rayonnant, l'aurait contaminé en aluminium 26 quelque deux millions d'années avant sa naissance.

Troisième constat : la présence de béryllium 10. *"Pour en produire suffisamment, l'amas stellaire qui a donné naissance au Soleil devait contenir au moins 50 supernovæ, ce qui est statistiquement possible dès lors qu'il contient 20 000 étoiles"*, ajoute Vincent Tatischeff. Vingt mille étoiles, c'est énorme ! Seuls 1 % des amas de la Voie lactée sont aujourd'hui aussi massifs.

Enfin, il y a les abondances en calcium 41 et en chlore 36. Pour les expliquer, il faudrait, en prime, que l'une de ces 20 000 étoiles se soit échappée du troupeau, ait voyagé 150 années-lumière jusqu'au nuage de gaz protosolaire, et se soit transformée en étoile Wolf-Rayet. Soit une phase très brève, de l'ordre du million d'années, par laquelle passent les étoiles de plus de 40 fois la masse du Soleil : elles se mettent alors à cracher leur matière sous la forme de vent stellaire à grande vitesse avant d'exploser en supernovæ. Là encore, un phénomène rarissime : on estime qu'il n'en existe que 6 000 sur les 200 à 400 milliards d'étoiles que contient la Voie lactée…

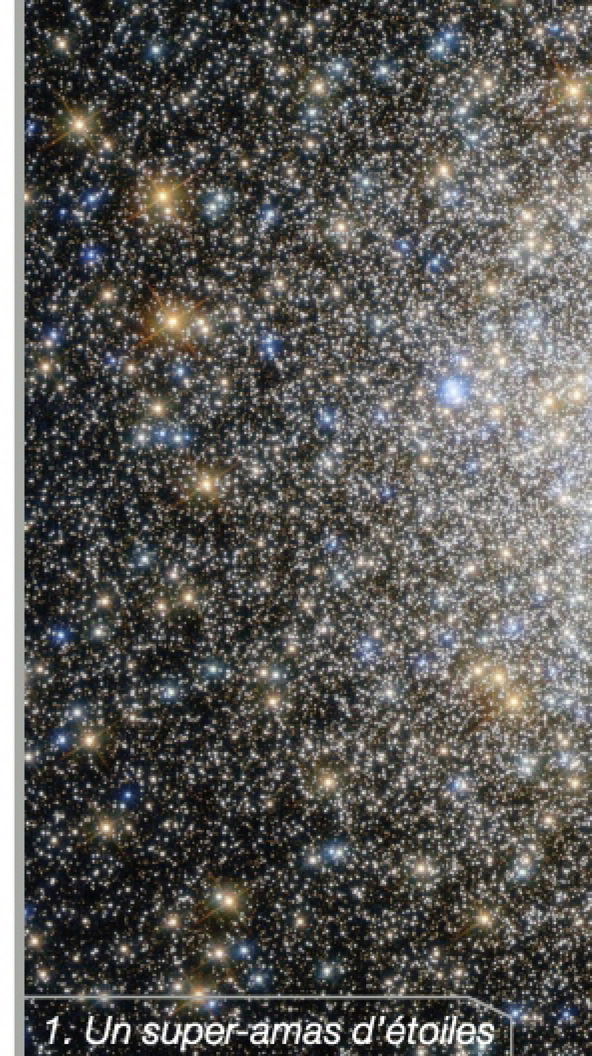
Faits & chiffres

Situé en périphérie de la Voie lactée, à environ **28 000 années-lumière** de son centre, le Soleil est une naine jaune, comme **10 % des 200 à 400 milliards d'étoiles** de notre galaxie – sachant qu'il y aurait près de **200 milliards de galaxies** dans l'Univers visible.

DE QUOI EXPLIQUER LA VIE ?

On récapitule. Une supernova toute proche, une étoile massive, un énorme amas d'étoiles et, pour finir, une étoile Wolf-Rayet : voilà les quatre fées qui semblent s'être penchées successivement sur le berceau de notre Soleil.

Charge aux chercheurs maintenant de rassembler cette improbable succession de phénomènes cosmiques en une seule histoire. *"Il faut commencer par améliorer les mesures du chlore 36, du fer 60 et du calcium 41"*, estime Vincent Tatischeff. *"Et effectuer une datation précise des premiers solides du système solaire grâce à l'analyse de la décroissance de noyaux radioactifs à plus longue vie, comme l'uranium"*, ajoute son collègue Jean Duprat. *"Il faudrait également mieux observer les régions de formation d'étoiles*, renchérit Matthieu Gounelle. *Plusieurs phénomènes peuvent mener à la genèse d'une étoile. Il faut donc se demander si la naissance de la nôtre, et du système solaire, est banale ou non."*



1. Un super-amas d'étoiles

ESA/HUBBLE & NASA - NASA, ESA - NASA/CXC/SAO

La question est loin d'être anecdotique. Car ces isotopes radioactifs à courte durée de vie, bien que présents à l'état de traces, pourraient avoir joué un rôle non négligeable dans la naissance du système solaire. Voire dans l'apparition de la vie !

En effet, l'aluminium 26, en se décomposant, aurait irradié tellement de chaleur qu'il aurait pu assécher les astéroïdes du système solaire… ceux-là mêmes que l'on soupçonne d'avoir apporté à la Terre, initialement sèche, ses océans. Sans cet isotope, il y aurait eu





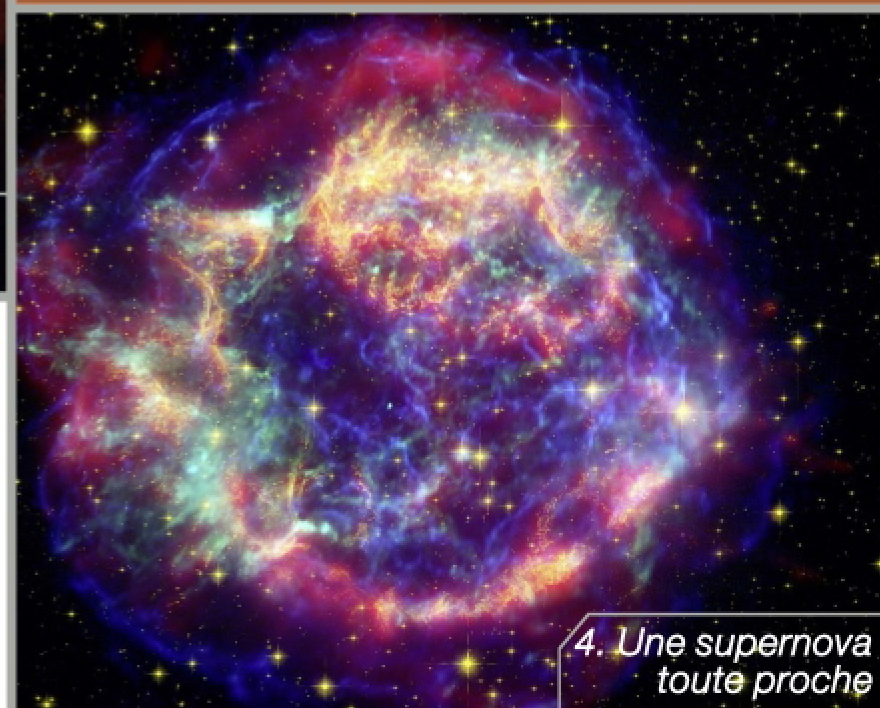
2. Une étoile Wolf-Rayet



3. Une étoile massive

Il y a 4,6 milliards d'années, 4 "fées" se penchaient sur le berceau du Soleil

La genèse de notre étoile s'est déroulée en même temps que quatre phénomènes cosmiques exceptionnels. Lesquels, tels des fées, ont façonné son destin. Les voici dans l'ordre d'apparition.

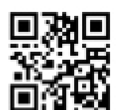


4. Une supernova toute proche

10 fois plus d'eau sur Terre. *"On ne sait pas exactement combien d'eau peut absorber le manteau terrestre*, précise Sean Raymond, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. *Mais les océans terrestres auraient pu submerger intégralement les continents, c'est une possibilité."* La Terre aurait alors été une planète-océan, sur laquelle la vie aurait emprunté un chemin évolutionnaire radicalement différent… pour autant qu'elle eût pu se développer.

"C'est à se demander si on ne devrait pas inclure ce critère dans l'équation de Drake", plaisante Vincent Tatischeff. Cette fameuse équation qui estime le nombre de civilisations extraterrestres pouvant exister dans notre galaxie est, il est vrai, basée sur le principe de banalité. Si le Soleil n'est pas une étoile banale, si tant de fées se sont penchées sur son berceau, jusqu'à peut-être lui donner le don de vie… cela pourrait tout changer.

A commencer par le regard que nous portons sur l'astre de nos jours.



A consulter : les travaux des chercheurs évoqués dans l'article.

*EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



Repères

Un nombre premier ne peut être divisé par un autre sans produire un nombre à virgule. Ainsi, 41 est premier, contrairement à 42 qui est divisible par 2, 3 et 7. Euclide a démontré, voici 2 300 ans, qu'il y en a une infinité. Et jusqu'ici, tout le monde était persuadé que leur apparition dans la liste des nombres entiers ne suivait aucun ordre…

Nombres premiers
Ils cachent un ordre secret

Le monde des maths n'en revient pas : non, les nombres premiers ne sont pas aléatoires… Ils obéissent en fait à un ordre caché ! **Román Ikonicoff** nous livre la clé de cette litanie arithmétique.

P*ersonne n'avait remarqué cela auparavant. C'est fou !"* Comme le mathématicien américain Andrew Granville, célèbre théoricien des nombres, ils sont nombreux à s'ébahir du résultat publié au mois de mars par deux chercheurs de l'université Stanford. *"J'ai été scotché"*, a lâché Ken Ono, grand "résolveur" de conjectures sur les nombres. "*C'est vraiment un beau résultat"*, a commenté James Maynard, jeune prodige de l'arithmétique. L'objet de tant de stupeur et de compliments ? La découverte d'un "code caché" dans les nombres premiers.

Ces nombres, qui ne sont divisibles que par 1 et par eux-mêmes (lire Repères ci-contre), sont des vedettes incontestées de l'arithmétique. Ils en sont les "particules élémentaires" : tous les entiers peuvent s'écrire comme le produit de nombres premiers (par exemple 14 = 2x7 ; 15 = 3x5 ; 16 = 2x2x2x2).

1, 2, 3, 5, 7, 11, 13… 9923, 9929, 9931, 9941, 9967, 9973… Comme on ne connaît aucun moyen d'anticiper précisément leur "lieu" d'apparition dans la suite des entiers, tout le monde était convaincu que la liste des premiers était régie par le seul hasard. *"Jusqu'à récemment, on croyait que dans l'univers des premiers, tout arrive avec la même probabilité. Une idée naïve qui est battue en brèche"*, lâche Olivier Ramaré, mathématicien spécialiste des nombres premiers au CNRS, à Aix-Marseille.

DÉCOUVERT "PAR ACCIDENT"

Car oui, cette sacro-sainte liste cacherait en fait une structure, un ordre partiel qui avait échappé à la vigilance des savants pendant des siècles. Même les auteurs de cette découverte n'en reviennent pas : *"Nous avons été choqués en voyant ce phénomène pour la première fois !"*, raconte Robert Oliver, cosignataire avec Kannan Soundararajan de l'article annonçant "Des tendances inattendues dans la distribution de nombres premiers consécutifs".

SHUTTERSTOCK

Leur découverte s'énonce très simplement : il y a peu de chances que deux nombres premiers consécutifs finissent par le même chiffre. Voilà, c'est tout… Mais cela a suffi à secouer la planète Maths.

Il est évident que le dernier chiffre d'un nombre premier ne peut être que 1, 3, 7 ou 9, car tout nombre finissant par 0, 2, 4, 6 ou 8 est divisible par 2, et tout nombre finissant par 5 est divisible par 5. Or, jusqu'ici, les mathématiciens pensaient que le dernier chiffre d'un nombre premier avait autant de chances d'être un 1, un 3, un 7 ou un 9 : soit 1 chance sur 4 (25 %). Eh bien non : les deux chercheurs ont montré que si un nombre premier pris au hasard finit par un 1, le nombre premier qui lui succède n'a que 18 % de chances de finir également par un 1, au lieu des 25 % attendus. Une tendance qui vaut également pour 3, 7 et 9. Autres étrangetés : un premier terminant par un 1 a 30 % de chances d'être suivi par un autre se terminant par 3 ou 7, mais seulement 22 % que ce soit par un 9…

Il y a donc bien une structure cachée dans la litanie arithmétique. Comme si le dernier chiffre d'un nombre premier repoussait (ou attirait) le dernier chiffre du suivant : 1 repousse 1, 3 repousse 3, 7 repousse 7 et 9 repousse 9. Un phénomène qui aurait pu être remarqué depuis longtemps par une simple analyse statistique. *"La plupart de ceux à qui nous avons montré notre résultat ont immédiatement écrit leur propre programme d'ordinateur pour le vérifier !"* s'amuse Robert Oliver.

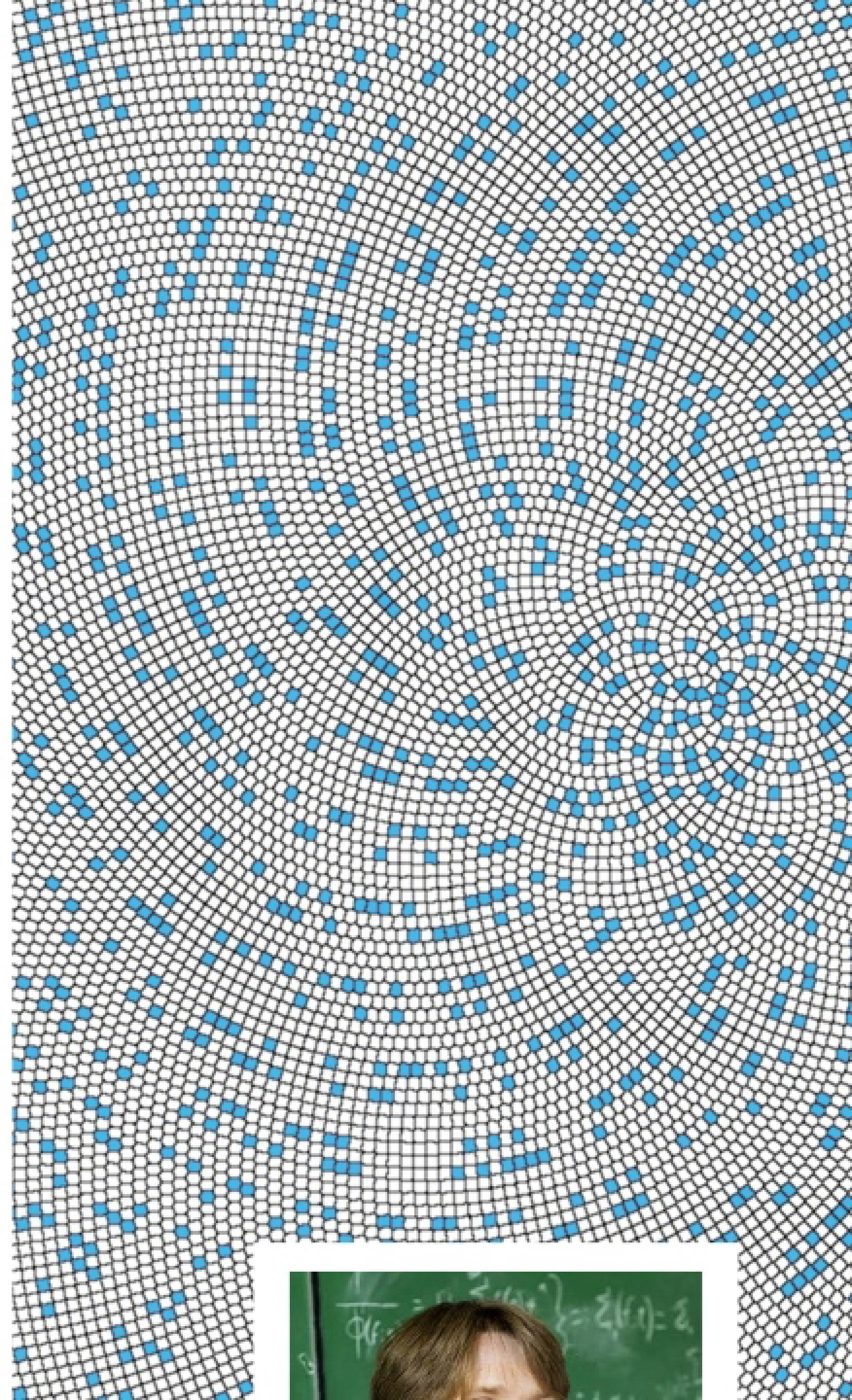
Les chercheurs de Stanford sont tombés sur ce résultat iconoclaste *"un peu par accident*, avoue Robert Oliver. *C'est mon collègue Kannan Soundararajan qui en a eu l'idée lors d'une conférence présentant un phénomène contre-intuitif lié au tirage d'une pièce : il faut en moyenne tirer la pièce 4 fois pour obtenir la suite pile-face, contre 6 tirages pour obtenir la suite face-face"*. Essayez chez vous pour voir… Soundararajan s'est alors demandé si cela valait aussi pour les nombres premiers : deux nombres premiers consécutifs ont-ils les mêmes chances de finir sur le même chiffre plutôt que sur des chiffres différents ?

UN "EFFET REPOUSSOIR"

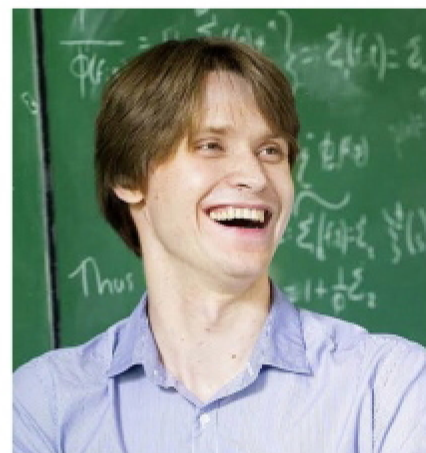
Pour y répondre, les deux chercheurs ont scruté les mille premiers nombres premiers… et ont observé pour la première fois "l'effet repoussoir" entre leurs derniers chiffres. Puis, poussant l'analyse plus loin, ils ont constaté que le biais se maintenait. Comme si une "force" ou un mécanisme inconnu agissait en sous-main ! *"Quand j'ai vu ce phénomène,* se souvient Robert Oliver, *c'est comme si les nombres premiers s'étaient levés et mis à marcher ! C'était bizarre."*

Oliver et Soundararajan sont alors passés aux choses sérieuses. Car constater un phénomène sur des séries de nombres premiers connus ne suffit pas, encore faut-il démontrer que ce phénomène existe pour l'infinité des nombres premiers ! Un défi qu'ils ont relevé en bâtissant un édifice théorique hypersophistiqué que nous nous garderons bien de détailler ici.

Notons cependant que ce travail s'appuie sur une conjecture, c'est-à-dire un



À LA RECHERCHE D'UNE STRUCTURE CACHÉE… En positionnant les nombres entiers suivant une spirale avec le 1 au centre, puis en colorant en bleu les nombres premiers, ce dessin apparaît. Or, jusqu'ici, personne n'y voyait un ordre.



ROBERT **OLIVER**

Mathématicien et codécouvreur de l'ordre caché, à l'université Stanford, Etats-Unis

Quand j'ai vu ce phénomène, c'est comme si les nombres premiers s'étaient levés et mis à marcher !





OLIVIER **RAMARÉ**
Mathématicien spécialiste des nombres premiers au CNRS Aix-Marseille

Il y a quelque chose à comprendre que l'on ne soupçonnait pas et des pistes à explorer… Ça bouge !

résultat mathématique non prouvé mais considéré comme suffisamment solide pour pouvoir bâtir dessus des démonstrations. *"Cette conjecture dite 'des n-uplets premiers de Hardy-Littlewood' est un des grands résultats en théorie des nombres premiers*, explique Olivier Ramaré. *Très largement acceptée comme vraie par les mathématiciens, elle décrit des propriétés de couples de nombres premiers se trouvant à différentes 'distances' l'un de l'autre."*

Elle vise les nombres premiers distants de deux places comme le sont 41 et 43, de quatre places comme 43 et 47, de six places comme 41 et 47… Elle s'intéresse aussi aux triplets, distants de 2 et 4 places (41, 43, 47), de 2 et 6 places (29, 31, 37)… Mais également aux quadruplets, aux quintuplets, etc. La conjecture établit alors des propriétés statistiques pour chaque type de n-uplet pris dans ce carnaval de combinaisons.

UNE BIEN ÉTRANGE AFFAIRE…

Les deux mathématiciens ont adapté cet outil à la contrainte d'être des nombres premiers consécutifs. C'est la *"partie novatrice de leur travail"*, selon Olivier Ramaré, qui attend quand même que ce résultat, soit confirmé. Ils ont ainsi pu caractériser les probabilités d'avoir le même dernier chiffre et démontré l'effet repoussoir. Sachant, comme l'explique Olivier Ramaré, que cet effet s'atténue à l'infini : *"Pour les nombres premiers consécutifs situés vers $10^{100\,000}$* [soit un 1 suivi de 100 000 zéros], *les probabilités sont très proches de 25 %."*

Une étrange affaire, décidément. D'autant que la conjecture de Hardy-Littlewood a toujours été considérée comme exprimant le caractère aléatoire de la liste des premiers. Or, elle a servi ici à prouver… le contraire !

Olivier Ramaré se réjouit : *"Il y a quelque chose à comprendre dans les nombres premiers que l'on ne soupçonnait pas et les auteurs de l'article en donnent des pistes. Ça bouge !"*

Serait-ce le premier pas vers le dévoilement d'une loi plus profonde ? Une loi qui permettrait d'engendrer automatiquement les nombres premiers ?

Robert Oliver en doute : *"Je serais très méfiant si un extraterrestre débarquait avec une formule simple pour engendrer les nombres premiers. Car il existe une hypothèse célèbre, celle de Riemann, qui instaure que les nombres premiers, sans être totalement chaotiques, portent en eux un degré certain d'aléatoire."*

Olivier Ramaré est lui aussi sceptique. *"Peut-être qu'un jour on trouvera une telle loi. Mais la majorité d'entre nous n'y croit pas. On pense que l'indéterminé est dans leur nature."* Malgré la trouvaille des chercheurs, le méconnaissable serait ainsi constitutif des nombres premiers, dont on ne connaîtra jamais les lois d'engendrement qu'au travers du voile flou des probabilités.

Mais dans ce monde opaque, un nouveau paysage inattendu vient d'apparaître… L'exploration ne fait que commencer.



A consulter : quelques références pour mieux connaître les nombres premiers.

***EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com

DR

Antarctique
La bombe à retardement

Le pôle Sud est le grand oublié des prévisions de hausse du niveau des mers liée au réchauffement climatique. Et pourtant, lui aussi fond ! Une mécanique implacable semble s'être enclenchée, qui le ronge… par-dessous. Et dans les siècles à venir, cela pourrait tout changer, prévient **Vincent Nouyrigat**.

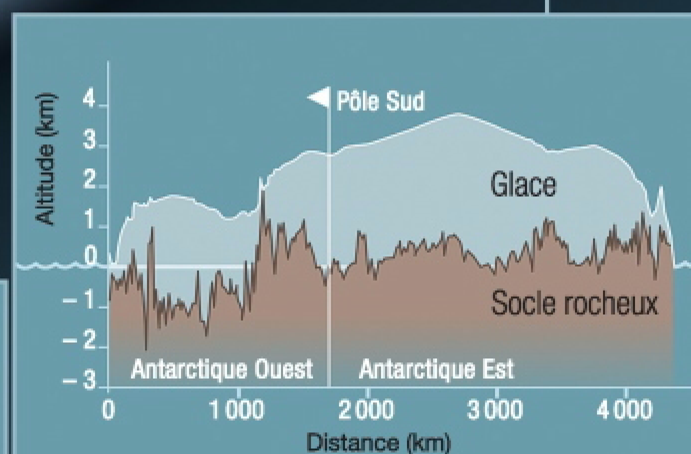
NASA - B.BOURGEOIS

Un continent qu'on croyait immuable...

∨ Un territoire immense et isolé
Grand comme 7 fois le Groenland, le 6e continent se trouve à l'écart des grandes circulations atmosphériques et océaniques.



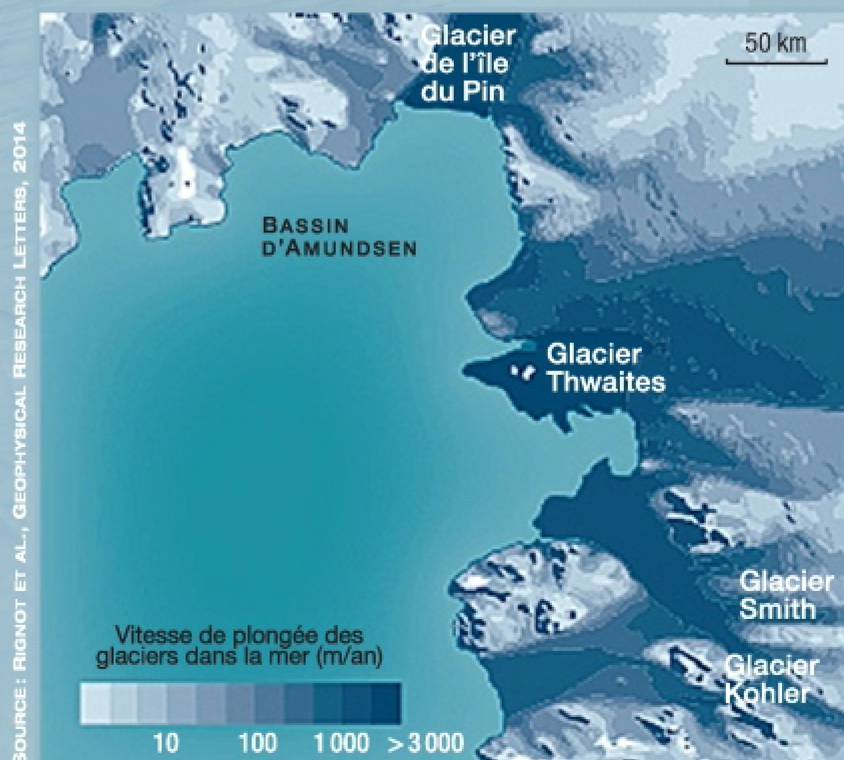
Source : www.antarcticglaciers.org



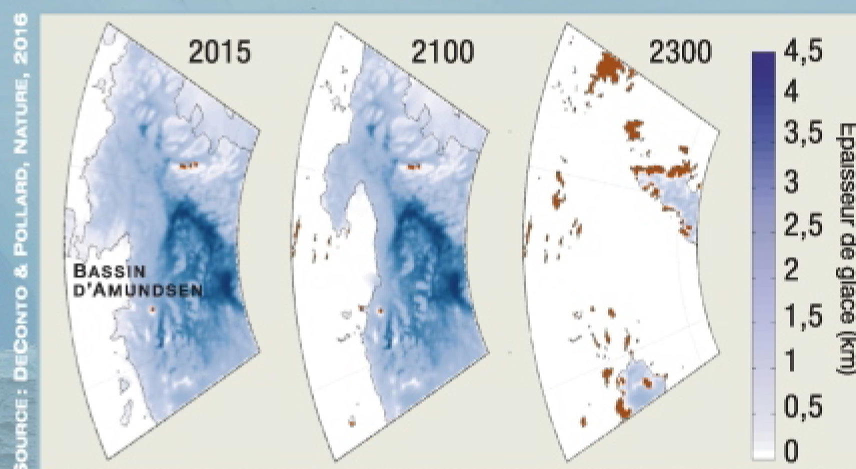
∧ Une monstrueuse épaisseur de glace
Sa calotte, en place depuis 30 millions d'années, bat tous les records : épaisse de plusieurs kilomètres, elle totalise 26,5 millions de km³ de glace.



… sauf que sa fonte semble engagée…

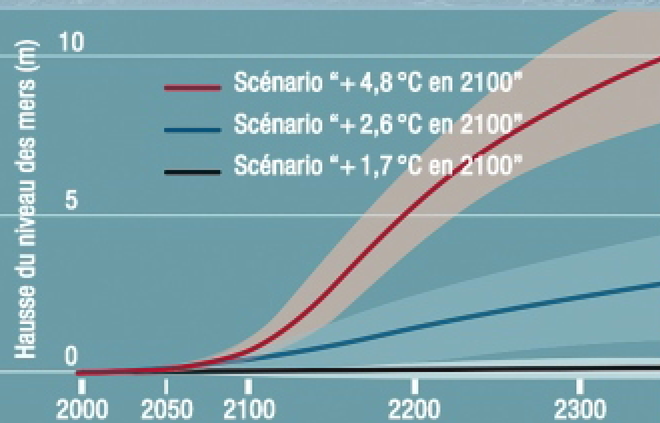


Des premiers signaux inquiétants
Les grands glaciers bordant la mer d'Amundsen, sur la côte Ouest, ne sont plus stables : de récentes analyses satellites dévoilent que, entre 1992 et 2011, le cœur du glacier de l'île du Pin a reculé de 31 km, tandis que le glacier Thwaites accuse, lui, un retrait de 14 km ; moins imposants, les glaciers Smith et Kohler ont tout de même rétréci de 35 km.



Des simulations qui laissent craindre le pire
Les derniers modèles numériques anticipent un emballement du processus de fonte : déstabilisée, la calotte de l'Antarctique Ouest (entourant ici le bassin d'Amundsen) pourrait s'effondrer en quelques siècles… et faire apparaître le sol nu (en marron).

... au risque d'une hausse du niveau des mers dramatique





Des projections réévaluées

L'Antarctique pourrait participer à l'élévation du niveau des mers dans des proportions gigantesques (en rouge, le pire des scénarios : émissions de CO_2 non limitées).

Des territoires submergés

La fonte de l'ensemble de la calotte antarctique correspondrait à une hausse de 58 m de l'océan mondial : sur cette carte, toutes les zones bleu clair seraient alors submergées.

PLAINPICTURE/ROBERTHARDING/MICHAEL NOLAN – S.BOURGEOIS

Dès 2100, le niveau des mers pourrait dépasser de 1 m les prévisions du Giec

Et si l'Antarctique fondait? Dit comme cela, l'hypothèse ne fait pas forcément frémir. Chacun est maintenant habitué aux effets spectaculaires du réchauffement climatique: la disparition à grande vitesse des glaciers alpins, le vif recul des langues de glace de la cordillère des Andes, de l'Alaska, de l'Himalaya et, surtout, la fonte implacable de la calotte du Groenland.

Alors, pourquoi pas l'Antarctique… Après tout, si le pôle Nord subit les affres du réchauffement global, le pôle Sud n'est-il pas condamné lui aussi à la débâcle?

Ce serait oublier que le "continent blanc" est un monde à part, presque extraterrestre, largement isolé des circulations atmosphériques et océaniques mondiales – à la différence du Groenland – et recouvert d'une couche de glace épaisse par endroits de près de 5 000 m (la hauteur du mont Blanc!). Un monde où les températures hivernales atteignent souvent les – 70 °C à l'intérieur des terres et où, en plein cœur de l'été, sur les rivages les plus torrides, le fond de l'air ne s'aventure guère au-dessus de 0 °C. Pas étonnant que, pour la grande majorité des scientifiques, l'Antarctique demeure une forteresse de glace imprenable et la dernière valeur sûre de cette Terre au climat chamboulé.

Seulement, les belles certitudes des experts sont en train de voler en éclats. Depuis deux ans, les mesures satellites se précisent, les modèles numériques s'affinent et les visages des glaciologues s'assombrissent. Sous l'effet du réchauffement, une partie de la calotte antarctique pourrait en effet s'effondrer dans l'océan puis, en fondant, faire enfler le niveau des mers à l'échelle de la planète dans des proportions catastrophiques.

La dernière étude publiée dans la revue *Nature* affirme que l'Antarctique a le potentiel pour déclencher une hausse de 1 m d'ici à la fin du siècle.

"Un mètre d'élévation verticale, cela a un impact énorme!", souffle Anny Cazenave, l'un des principaux auteurs du chapitre sur l'évolution du niveau de la mer du dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec). Car ce mètre d'océan en plus, il faudrait l'ajouter aux 26 à 82 cm d'ores et déjà prévus pour 2100 par le Giec; cette prévision officielle, basée principalement sur la dilatation thermique des océans et la fonte du Groenland, justifie déjà, un peu partout, des grands travaux de réaménagement de digues ou de douloureuses réflexions sur l'abandon de pans de territoire devenus submersibles.

Mais il y a pire. Cette élévation inattendue ne serait que le début d'une montée des eaux quasi biblique: songez que le volume total de glace posé sur l'Antarctique correspond à une hausse de… 58 m de l'océan mondial!

BIEN MOINS STABLE QU'ATTENDU…

Comment a-t-on pu ignorer une menace aussi monstrueuse? *"L'Antarctique est un milieu plus difficile à comprendre que le Groenland; il est beaucoup plus grand, isolé et inhospitalier"*, justifie Benjamin Smith, du Centre des sciences polaires, à l'université de Washington.

Anny Cazenave se souvient: *"Dans les années 1990, les glaciologues nous disaient que les calottes polaires présentaient une inertie si forte que leur fonctionnement actuel était encore régi par de lointains épisodes glaciaires."*

De fait, *"dans le rapport du Giec de 2001, les experts considéraient que la hausse du niveau des mers dans le siècle serait essentiellement liée à l'expansion thermique des océans, et l'Antarctique était alors considéré comme stable*, soulève Gaël Durand, du Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement de Grenoble. *La synthèse suivante, en 2007, constatait l'incapacité des modèles existants à prévoir l'évolution des glaciers"*. Le dernier rapport du Giec, paru en 2013, faisait à peu près le même constat tout en prévenant que la dynamique de la calotte représentait la plus forte incertitude sur le niveau des mers à venir.

Mais au final, reconnaît Anny Cazenave, *"la contribution de l'Antarctique à l'élévation du niveau des mers est présentée dans ce rapport comme modique"*. Une fourchette de 3 à

14 petits centimètres est envisagée au vu des études parues jusqu'à fin 2012. Très sage estimation, à l'image de *"cette tendance du Giec aux propos toujours un peu consensuels et conservateurs"*, cingle Mathieu Morlighem, spécialiste de la cryosphère à l'université de Californie. *"Ils n'ont pas pris en compte les approches semi-empiriques qui donnaient déjà des résultats beaucoup plus élevés – quand bien même ils étaient plus incertains*, reproche Nick Golledge, du Centre de recherche sur l'Antarctique à l'université de Wellington. *Je pense qu'ils ont péché par excès de précaution."*

LE TALON D'ACHILLE DU 6e CONTINENT

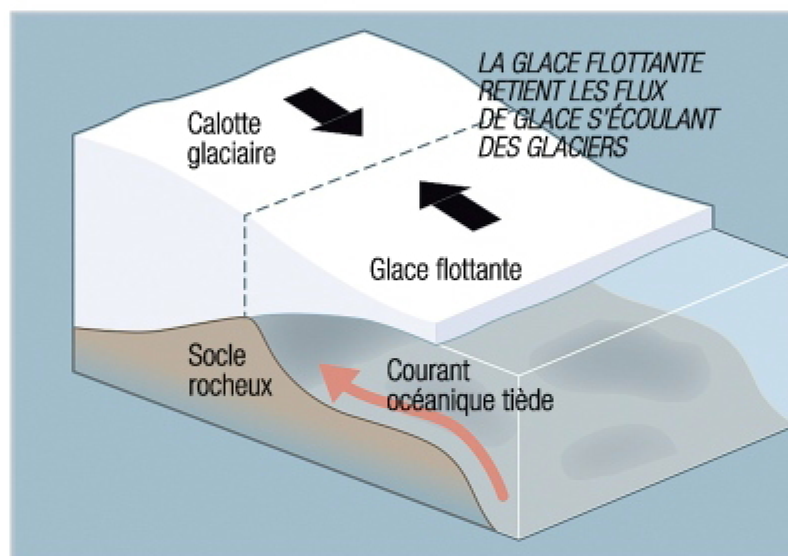
Le ton est en train de changer. Les mesures satellites publiées au printemps 2014 ont en effet montré que les glaciers du bassin d'Amundsen, dans l'ouest de l'Antarctique, connaissent un fort recul: entre 1992 et 2011, le glacier Thwaites a reculé de 14 km et l'emblématique glacier de l'île du Pin s'est retiré de 31 km (voir p. 81).

Les glaciologues ont tous en mémoire l'image de la plateforme Larsen B, qui s'est littéralement volatilisée en quelques jours au début de l'année 2002. *"Après cet effondrement, la vitesse des glaciers situés derrière a brusquement été multipliée par huit!"*, se souvient Gaël Durand.

Si les chercheurs s'inquiètent, c'est qu'ils commencent à mieux comprendre la mécanique implacable à l'œuvre sur le "sixième continent". A la différence du pôle Nord, l'augmentation de la température de l'air n'y a – pour l'instant – aucune influence: la fonte n'a pas lieu en surface, mais en dessous (voir infographie). Les courants marins circumpolaires ont vu leurs trajectoires modifiées ces dernières décennies sous l'effet des changements de régimes des vents manifestement provoqués par le réchauffement climatique. Ces eaux relativement douces ont été déviées vers la calotte ouest, où elles rongent la glace flottante. *"Ces courants peuvent faire fondre chaque année plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur de glace"*, fait savoir Eric Rignot, spécialiste du suivi satellite des glaciers à la Nasa.

> *La question n'est plus de savoir si le glacier Thwaites va s'effondrer, mais quand! D'ici deux à neuf siècles, selon notre modèle…*
>
> IAN **JOUGHIN**
> Glaciologue au Centre des sciences polaires de l'université de Washington

L'Antarctique ne fond pas



1. Le changement climatique modifie les courants océaniques

Sous l'effet du réchauffement, des courants d'eau tiède sont déviés vers l'Antarctique Ouest. Ils menacent la glace flottante, laquelle joue un rôle mécanique crucial en retenant les flux de glace qui s'écoulent des glaciers.

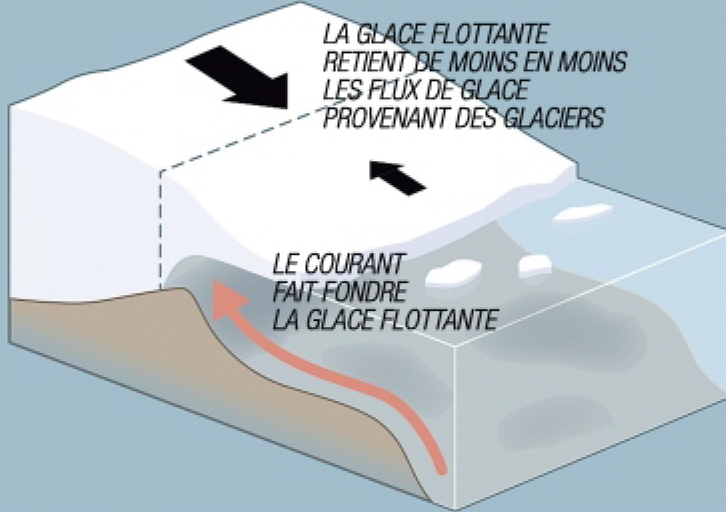
Problème: cette calotte flottante joue un rôle mécanique crucial de contrefort, retenant les torrents de glace qui s'écoulent des glaciers continentaux. Aminci et fragilisé, cet arc-boutant risque de céder. Le retrait des glaciers pourrait alors s'emballer et devenir incontrôlable, quand bien même l'apport de chaleur océanique se réduirait. *"Un point de bascule est franchi, un peu comme si l'on avait ouvert en grand un robinet"*, compare Catherine Ritz, directrice de recherche à l'université de Grenoble. *"Le glacier se vide de son sang et on ne peut plus revenir en arrière"*, résume Mathieu Morlighem.

Au vu de sa configuration géométrique, le bassin d'Amundsen semble être le talon d'Achille de l'Antarctique. Il y a deux ans, les modélisations de l'université de Washington ont révélé que le glacier Thwaites en était vraisemblablement aux premiers stades de sa disparition. *"Sa stabilité est devenue précaire, et la vraie question est maintenant de savoir combien de temps prendra son effondrement – entre deux et neuf siècles selon notre modèle"*, relate Ian Joughin, du Centre des sciences polaires, auteur de l'étude. Petit détail, le glacier Thwaites représente à lui seul environ un mètre d'élévation du niveau de la mer…

Autre colosse aux pieds d'argile, le glacier de l'île du Pin devrait déverser dans les décennies

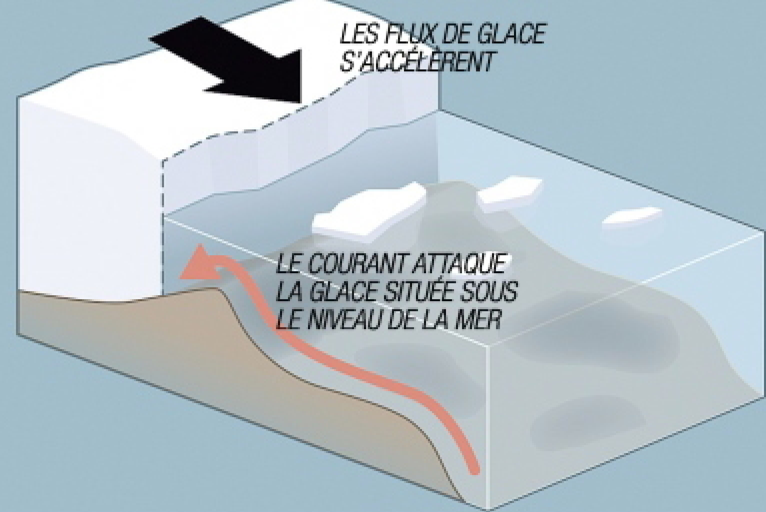
B.BOURGEOIS

en surface, mais par-dessous



2. Des courants d'eau tiède rongent la glace flottante

Ils font fondre chaque année plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur de glace flottante. Fragilisée, cette dernière risque d'exposer la glace de la calotte continentale située sous le niveau de la mer.



3. La calotte glaciaire est exposée, la fonte des glaciers s'emballe

Le bouchon formé par la glace flottante a sauté. La calotte continentale est attaquée sur une épaisseur sans cesse croissante. Or, plus la couche de glace exposée est épaisse, plus l'écoulement s'accélère : la fonte des glaciers s'emballe et pourrait être irréversible.

à venir 60 à 120 gigatonnes de glace par an, selon les simulations de l'université de Grenoble – contre 20 ces vingt dernières années. Aucun obstacle géologique, aucun monticule ou canal étroit ne semble pouvoir freiner cette course folle.

Du reste, il suffirait de pas grand-chose pour faire vaciller l'ensemble de la calotte ouest : les calculs de l'université de Wellington montrent qu'une déstabilisation à grande échelle de cette région pourrait intervenir à partir d'une hausse modeste de 0,3 °C dans l'océan et 1,5 °C dans l'air – la température de l'air jouant sur le long terme. A la clé, une augmentation possible de 3 m des océans en quelques siècles.

DE QUOI REDESSINER LA CARTE DU MONDE

Ces calculs ne disent pas forcément tout du potentiel de nuisance de la calotte antarctique ; son effondrement pourrait redessiner la carte du monde de manière encore plus violente et radicale. *"Ces 8000 dernières années, le niveau des eaux a été extraordinairement stable, mais les variations se produisent parfois de manière abrupte"*, avertit Gaël Durand. Les vitesses peuvent être dix fois supérieures à celle de l'actuelle montée des eaux, et les hauteurs d'eau dignes d'un tsunami : il y a 3 millions d'années, au pliocène, alors que l'atmosphère présentait une concentration en CO_2 proche de celle d'aujourd'hui, l'océan était 10 à 30 m plus élevé. Un niveau que les modèles ne parvenaient pas à reproduire jusqu'ici…

Deux chercheurs américains, Robert DeConto et David Pollard, ont cherché à combler ce manque en intégrant des mécanismes supplémentaires de déstabilisation : fracturation de la calotte sous l'effet de l'échauffement de l'atmosphère et écroulement brutal de hautes falaises de glace formées par la fonte. Ces phénomènes extrêmes n'ont été observés, à ce jour, que sur une poignée de glaciers des pôles Nord et Sud. Toujours est-il que leurs résultats concordent avec les données paléographiques.

Que prévoit ce modèle appliqué à la situation actuelle ? Si les émissions de CO_2 continuent sans frein, il faut s'attendre à une hausse du niveau des mers allant jusqu'à 1 m d'ici à 2100… et à près de 15 m en l'an 2500 (voir courbes p. 82). Nos descendants devront s'adapter au rythme affolant d'une montée des eaux de 4 m par siècle.

Dans ce scénario catastrophe, non seulement l'ouest de l'Antarctique serait massivement déglacé, mais le flanc est serait lui aussi fortement ébranlé. Impensable ! s'exclameront à nouveau les glaciologues du sérail. La partie orientale du continent blanc a toujours été considérée comme un havre de stabilité. A moins que… Une série d'études australiennes sur l'énorme glacier de Totten – équivalent à 3,9 m du niveau de la mer – révélait en 2015 des traces géologiques témoignant



de retraits profonds par le passé, l'existence de cavités qui permettraient la pénétration d'eau tiède et deux zones propices à l'effondrement. *"Les nouvelles données suggèrent que l'est de la calotte est capable de changements rapides, générant de très importantes montées du niveau de la mer en quelques siècles – ce que les modèles ne parvenaient pas à reproduire jusqu'ici"*, s'étonne Alan Aitken (université d'Australie-Occidentale).

Le débat fait encore rage sur la vitesse du processus. *"L'Antarctique Est peut se retirer très rapidement, même si beaucoup de glaciologues ne veulent pas y croire*, appuie Eric Rignot. *Une hausse de 3 à 4 °C ferait tout exploser!"*

Pomper l'océan, une solution?

Comment éviter l'élévation du niveau des mers? Simple, en écopant! Une équipe du très sérieux Institut de Potsdam (Allemagne) propose ainsi de pomper l'eau de mer excédentaire: contrer la hausse actuelle de 3 mm par an exigerait de retirer 1 000 milliards de m^3 – 19 fois le débit annuel du Rhône. Et le stockage? Facile: déversons cette eau au cœur de l'Antarctique, où elle gèlera instantanément! *"Cette solution pose plusieurs problèmes énergétiques"*, avoue Anders Levermann, l'un des chercheurs. En effet, ce pompage-transfert "à la Shadok" mobiliserait l'équivalent de… 1 300 réacteurs nucléaires. *"Et nous ne savons même pas quelle sera l'influence de telles quantités de glace d'eau de mer posées sur la calotte antarctique"*, poursuit-il. Gare aux apprentis sorciers…

"Je ne crois pas les catastrophistes qui annoncent que les calottes vont disparaître à la vitesse de la lumière, rétorque Catherine Ritz, dont le modèle affiche tout au plus 30 cm de contribution de l'Antarctique à l'élévation du niveau des mers d'ici à la fin du siècle. *Nous ne savons pas encore bien évaluer la probabilité d'un événement très fort, c'est vrai, mais à l'horizon 2100-2200 je ne suis pas inquiète… En revanche, à beaucoup plus long terme, oui, tous nos résultats deviennent effrayants."*

Effrayants à quel point? En début d'année, une équipe internationale a poussé les projections jusqu'à 10 000 ans: dans un scénario d'émissions de CO_2 plutôt réaliste, la contribution de l'Antarctique atteindrait à cet horizon 24 m de hausse.

Les scénarios d'émissions sans retenue parviennent, eux, jusqu'à 52 m, avec des pointes de vitesse difficilement gérables de 2 à 4 m par siècle. Tandis que la pure folie qui consisterait à brûler l'ensemble des ressources fossiles aujourd'hui accessibles parviendrait, selon l'Institut de Potsdam (Allemagne), à éradiquer presque entièrement la calotte antarctique en 10 000 ans.

LA CATASTROPHE PEUT ÊTRE ÉVITÉE

Que l'on ne se méprenne pas: tous ces scénarios resteront pure fiction si les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre les plus exigeantes sont respectées. *"Dans les scénarios de forte limitation du CO_2, la calotte de l'est de l'Antarctique reste stable et l'ouest survit au moins partiellement"*, signale Alan Aitken. De bonnes surprises ne sont pas non plus exclues: certains mécanismes pourraient contrecarrer les instabilités de la calotte – l'accumulation d'icebergs retenant les glaciers, par exemple.

Mais compter sur ces phénomènes hypothétiques semble hasardeux, tranche le chercheur australien: *"La perte irréversible – à long terme – de la calotte ouest interviendrait à partir d'une hausse de 2 °C par rapport à aujourd'hui; l'effondrement de l'est se déclencherait vers un seuil situé entre + 2 et + 4 °C."* Nick Golledge insiste: *"Ce que nous allons émettre dans les prochaines années ou décennies va dicter l'élévation du niveau des mers dans les siècles ou millénaires à venir."*

Le continent blanc n'intéresse pas grand monde aujourd'hui: souvent confondu avec l'Arctique, pas toujours représenté sur les mappemondes malgré une superficie 25 fois supérieure à celle de la France… Il y a fort à parier qu'une bonne partie de l'humanité saura, tôt ou tard, le situer sur une carte sans se tromper et suivra avec inquiétude l'évolution de ses glaciers, année après année, mois après mois, voire jour après jour. Une grande menace dont l'histoire se transmettra de génération en génération.



EN SAVOIR PLUS

A voir: une vidéo de la Nasa montrant l'effondrement de la plateforme Larsen B en 2002.

science-et-vie.com

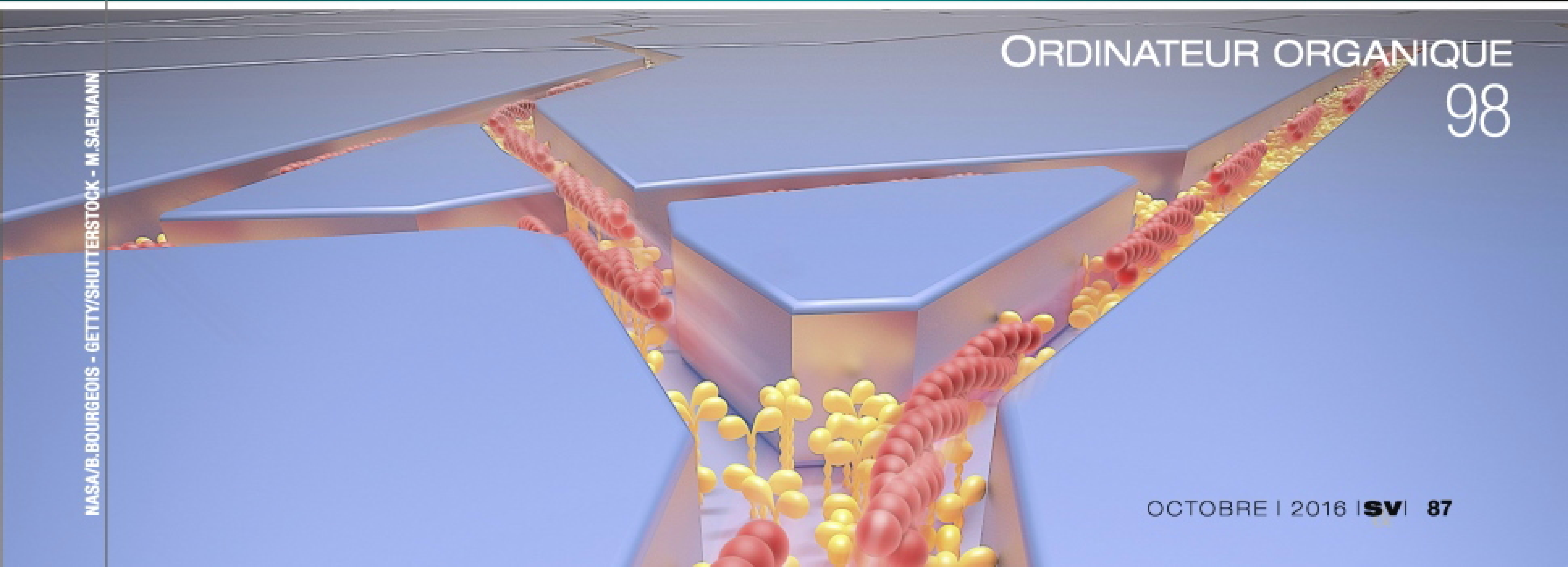
Science & techniques



Astéroïde-fusée
88



Grossesse *in vitro*
92



Ordinateur organique
98

NASA/B.BOURGEOIS - GETTY/SHUTTERSTOCK - M.SAEMANN



BRAD **KOHLENBERG**
Ingénieur chez Made In Space

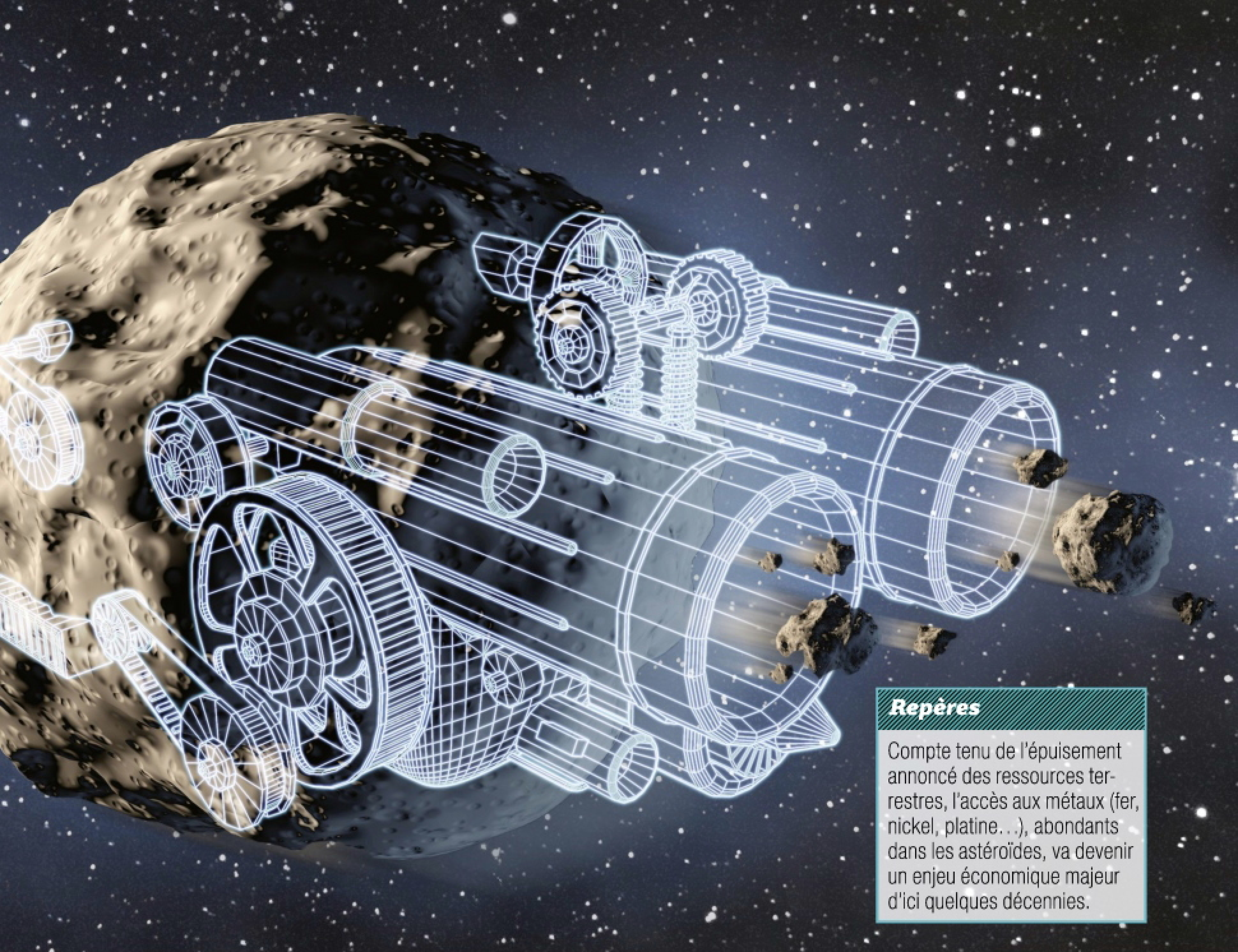
“Nous allons transformer un **astéroïde** en **vaisseau**”

Pour exploiter les minerais des astéroïdes, un projet envisage de les motoriser afin de les ramener sur Terre. Fou ? **Simon Devos** a rencontré l'initiateur du projet.

L'idée semble tout droit sortie d'un livre de science-fiction – quoique, à notre connaissance, elle n'ait jusqu'ici jamais été imaginée… Dans leur laboratoire californien, Brad Kohlenberg et ses collègues ingénieurs sont pourtant partis d'un constat banal : l'énergie colossale requise pour se libérer de l'attraction de notre planète freine notablement l'exploration spatiale. Ils en ont tiré une conclusion radicale, qui repose sur l'idée *“qu'il faut au maximum construire directement dans l'espace les équipements nécessaires à la conquête spatiale”*.

Depuis sa création, il y a six ans, l'entreprise Made In Space (“Fait dans l'espace”) explore avec zèle cette voie. En partenariat avec la Nasa, ses équipes ont été pionnières dans la conception d'imprimantes 3D capables de fonctionner à gravité zéro. Aujourd'hui, ce sont elles que les astronautes de la Station spatiale internationale utilisent pour imprimer directement en orbite certains outils ponctuellement nécessaires, tels que clés et manivelles.

Au-delà des facilités qu'offrent ces mini-unités de production, les experts de Made In Space poussent aujourd'hui plus loin leur réflexion. Les astéroïdes possèdent un potentiel minier phénoménal (voir “Repères”). Seul hic : comment les rapprocher de notre planète pour en exploiter plus aisément les richesses ? Selon les ingénieurs américains, il existe des solutions *“plus simples et moins coûteuses que d'envoyer un*



Repères

Compte tenu de l'épuisement annoncé des ressources terrestres, l'accès aux métaux (fer, nickel, platine…), abondants dans les astéroïdes, va devenir un enjeu économique majeur d'ici quelques décennies.

gros vaisseau très énergivore pour tracter un astéroïde". De fait, le projet de l'entreprise californienne ne ressemble à aucun autre…

PILOTABLE À DISTANCE

Baptisé Rama *(Reconstituting Asteroids into Mechanical Automata),* il consiste à envoyer sur les astéroïdes une petite sonde robotisée – baptisée "vaisseau-graine" – embarquant les outils capables de fabriquer à partir des matériaux disponibles sur place les différents composants d'un vaisseau spatial. De quoi transformer n'importe quel rocher errant en navette-astéroïde pilotable depuis la Terre ! *"Cette idée peut sembler assez fantaisiste, mais elle est tout à fait crédible d'un point de vue technique,* commente avec le plus grand sérieux Christophe Bonnal, expert à la direction des lanceurs du Centre national d'études spatiales. *On sait déjà se poser sur les astéroïdes ; quant à modifier leur orbite, il n'y a aucun obstacle majeur à cela. Je ne doute pas que cette manœuvre sera technologiquement possible dans peu de temps."*

A la Nasa aussi, les projections de Made In Space semblent prises au sérieux. En juin dernier, l'agence spatiale américaine a accordé à l'équipe de Brad Kohlenberg une bourse de 100 000 dollars pour initier le projet, comme le rappelle Jason Derleth, responsable de ce programme de financement. Pour mener à bien cette mission de *"reconstitution d'un astéroïde en automate mécanique",* les chercheurs devront au préalable procéder à un repérage et une analyse minutieuse des corps célestes concernés. *"Le 'bestiaire' des astéroïdes est très dense,* décrit Christophe Bonnal. *Il y a les métalliques, les rocheux, les compacts, les fracturés… Cette première étape sera donc primordiale."*

Une fois ce travail réalisé et le vaisseau-graine lancé, le vrai défi restera de "motoriser" le caillou céleste et d'en prendre

JOHN RAOUX / AP / SIPA - NSA - B.BOURGEOIS

LES PLANS DE "MADE IN SPACE"



LE VAISSEAU-GRAINE

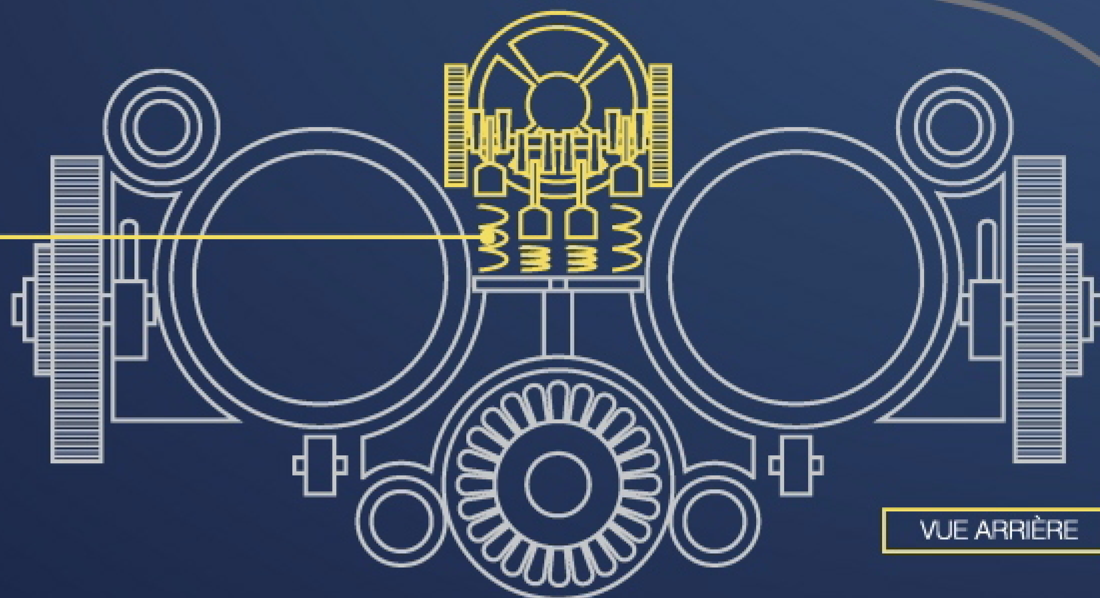
"Ce petit vaisseau robotisé envoyé depuis la Terre transforme l'astéroïde en un automate mécanique. Pour qu'il puisse enchaîner les missions sur un grand nombre d'astéroïdes, nous étudions différents moyens de propulsion et plusieurs sources d'énergie renouvelable : panneaux solaires ou récupération de carburant sur les astéroïdes. On envisage aussi d'éjecter le vaisseau-graine de l'astéroïde transformé au moyen de la catapulte de ce dernier."

LA PROPULSION PRINCIPALE

"L'idée est d'éjecter dans l'espace de la matière prélevée sur l'astéroïde, ce qui aura pour effet mécanique de le propulser dans la direction opposée. Pour ce faire, nous avons pensé à un système de catapulte. Nous procédons en ce moment à des simulations pour déterminer s'il est plus intéressant d'éjecter d'importantes masses de roche ou de plus petites, à grande vitesse."

LA CENTRALE DE PRODUCTION D'ÉNERGIE

"Les moyens de produire et de stocker de l'énergie ne manquent pas, surtout si l'on se projette dans 20 ou 30 ans : thermoélectricité, panneaux solaires ou solutions plus mécaniques, comme des volants d'inertie. Tout est envisageable !"



le contrôle à distance. Dans cette perspective, les ingénieurs californiens planchent sur la fabrication d'un robot équipé d'outils de sondage et de forage, capable d'acheminer des matériaux, qui embarquera une imprimante 3D nouvelle génération. Contrairement aux machines actuelles, qui impriment à partir de matières plastiques, de céramiques et de quelques métaux, l'imprimante 3D du futur – d'ici vingt à trente ans, selon les experts de Made In Space – forgera à peu près n'importe quelle forme à partir d'à peu près n'importe quel matériau (roche, métal, glace…). De quoi construire de manière complètement autonome les composants d'un astéroïde-vaisseau (voir infographie ci-dessus). *"Cette phase sera la plus longue,* anticipe Brad Kohlenberg. *Elle pourrait demander plusieurs années de travail."*

Pour faciliter l'usinage à distance des pièces nécessaires, les ingénieurs prévoient de revenir à la bonne vieille mécanique. Ainsi, la propulsion du vaisseau-astéroïde serait assurée par… des catapultes ! Ce mode de navigation repose sur le plus ancien calculateur analogique jamais construit : la fameuse machine

EXPLIQUÉS PAR SON CONCEPTEUR

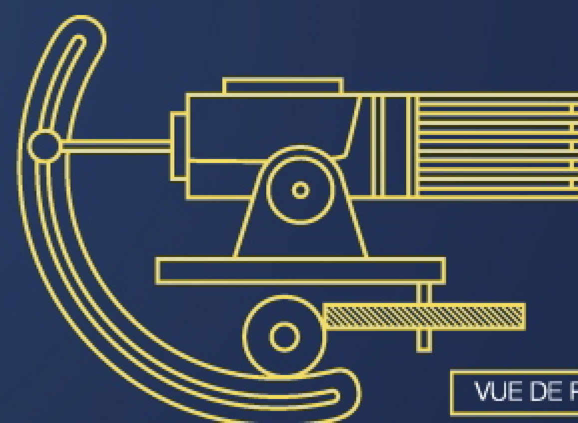


LE GISEMENT EXPLOITABLE

“Nous transformerons seulement les astéroïdes dotés de matériaux susceptibles d’être utiles, d’une part à leur automatisation par le vaisseau-graine, d’autre part par les industriels, une fois extraits et rapportés sur Terre.”

LE POSTE DE PILOTAGE

“Pour contrôler l’astéroïde, une solution entièrement mécanique nous semble la plus intéressante, car elle peut être mise en pratique sur place. Le système de navigation sera donc à l’ancienne, c’est-à-dire composé d’engrenages et de leviers qui permettront de faire pivoter l’astéroïde de façon rudimentaire.”



LE CENTRE DE COMMANDE

“Au départ, nous avons pensé à un centre de commande entièrement mécanique, sous la forme d’un ordinateur analogique. Nous gardons cependant l’option électronique. Avec la miniaturisation, il pourrait être possible dans vingt ans d’embarquer dans le vaisseau-graine les composants de plusieurs centres de commande, destinés à différents astéroïdes.”

DES PROPULSEURS SECONDAIRES

“Nous pensons installer des petites catapultes à l’avant de l’astéroïde. Elles sont destinées à corriger sa trajectoire. Pour les piloter, nous avons trois options : le guidage depuis la Terre ; la définition en amont de la trajectoire par le vaisseau-graine ; ou la navigation autonome de l’astéroïde à l’aide de capteurs. Le choix n’est pas encore arrêté.”

PROJET RAMA

d’Anticythère, mise au point par les Grecs dans l’Antiquité (voir *S&V* n° 1155). L’ordinateur de bord qui contrôlera l’ensemble reposera également sur un système d’engrenages, de cordes et de poulies.

DES RESSOURCES EN ORBITE

Une fois cette première mission achevée, le vaisseau-graine pourra tracer sa route vers un nouvel astéroïde-cible, tandis que le premier se dirigera de façon autonome vers la Terre, où ses ressources pourront alors être exploitées. *“C’est tout l’intérêt du projet Rama : la réutilisation possible du vaisseau-graine, qui devra être capable de se déplacer indéfiniment d’astéroïde en astéroïde !”*, s’enthousiasme l’ingénieur de Made in Space. Pour l’heure, l’équipe de Brad Kohlenberg tâche de préciser ses plans et d’en démontrer la faisabilité avant de postuler pour une deuxième bourse auprès de la Nasa. Laquelle, plus conséquente, pourrait permettre d’entamer la réalisation concrète du projet et faire que, dans quelques décennies, des vaisseaux-astéroïdes sous contrôle flottent par dizaines autour de la Terre. Un paysage digne des romans de science-fiction…



À consulter : les sites de la Nasa et de Made In Space (en anglais).

*** EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com



ILLUSTR : V. SAMUEL D'APRÈS GETTY/SHUTTERSTOCK - A. BRIVALOU ET AL

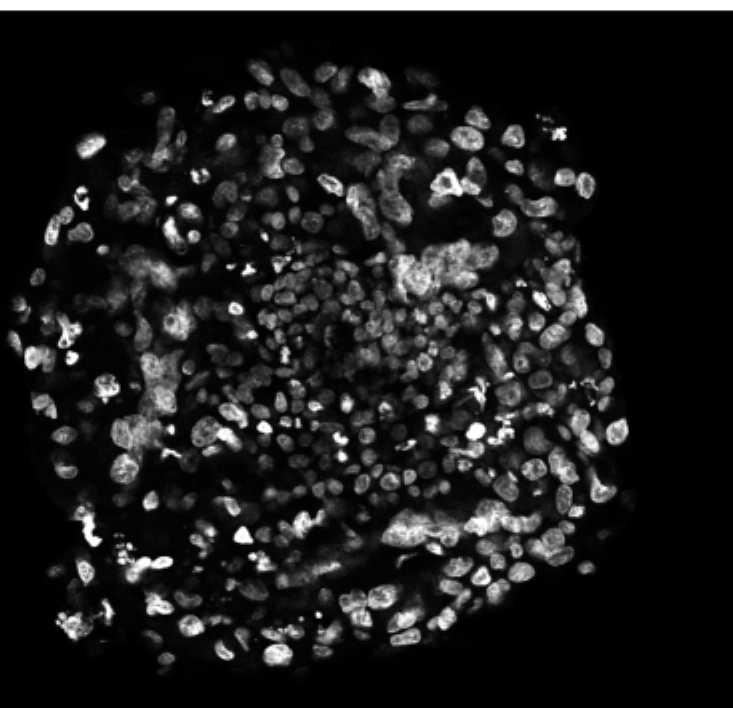
> 14 JOURS *IN VITRO* ! C'est le temps pendant lequel deux équipes ont réussi à maintenir en vie des embryons humains en laboratoire (à dr.). Une première mondiale. D'autant que les essais ont été arrêtés pour des raisons éthiques…

Procréation in vitro

Vers des grossesses sans la femme ?

En battant le record de vie embryonnaire dans une boîte de Petri, la science pourrait-elle rendre superflu le ventre maternel ? **Aude Rambaud** s'interroge, alors que l'âge des prématurés bat lui aussi des records.

Et si le romancier Aldous Huxley avait vu juste ? Et si, tel qu'il le décrit dans *Le Meilleur des mondes,* on en venait un jour à concevoir des grossesses intégralement artificielles ? Quatre-vingts ans après la parution de son roman d'anticipation, la question se pose pour de vrai. Alors que les embryons humains élevés en laboratoire ne subsistaient jusqu'ici que neuf jours tout au plus dans l'éprouvette, deux équipes, l'une à l'université Rockefeller, de New York, l'autre à l'université de Cambridge, au Royaume-Uni, ont réussi à prolonger l'expérience jusqu'à quatorze jours !



UN NÉCESSAIRE DÉBAT ÉTHIQUE

Cet exploit laisse penser que l'ectogenèse (gestation en dehors du corps humain) pourrait devenir plus qu'un simple scénario de science-fiction… Certes, de sept à quatorze jours, la différence peut paraître ténue sur neuf mois de grossesse. Mais ce serait oublier qu'au cours de cette semaine supplémentaire, l'embryon passe un cap fatidique : il est censé s'implanter dans l'utérus, une phase qui, pensait-on, nécessitait obligatoirement des échanges avec le tissu maternel.

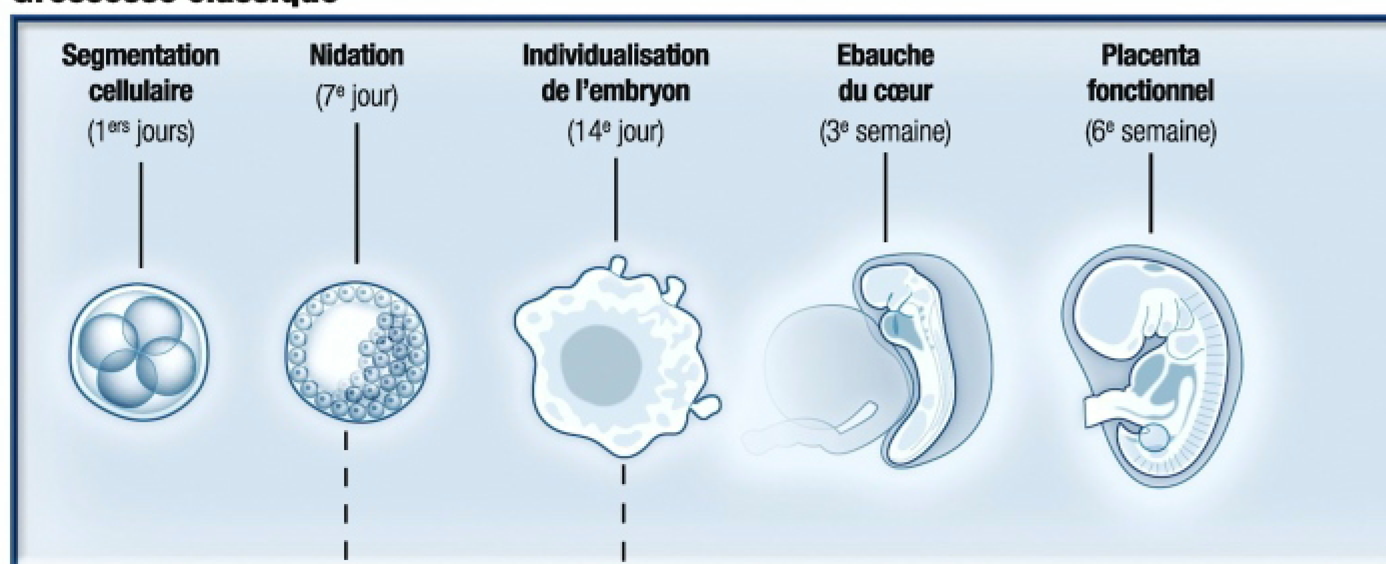
Or, voici que les chercheurs découvrent que, pendant au moins deux semaines, l'embryon placé dans une boîte de Petri est capable grâce, notamment, à un milieu de culture nourricier à base d'acides aminés et de glucose de former les premiers lignages cellulaires. Autrement dit, l'embryon est plus indépendant que prévu… *"On pensait que des échanges moléculaires avec la mère étaient nécessaires à l'embryon pour amorcer son développement,* commente Ali Brivanlou, biologiste responsable de ces travaux à l'université Rockefeller. *Or, on constate que ni ces échanges ni la structure spatiale de l'utérus ne lui sont indispensables. En réalité, l'embryon détient seul*

Chronologie

1880 Invention de la première couveuse effective par le Français S.Tarnier.
1944 Première fécondation *in vitro* par les Américains J. Rock et M. Menkin.
1978 Naissance de Louise Brown, 1er bébé-éprouvette.

Un temps de grossesse attaqué sur deux fronts

Avec les avancées dans les techniques de culture embryonnaire et les soins en constante amélioration apportés aux grands prématurés, le temps passé dans le ventre de la mère ne cesse d'être écourté. Aujourd'hui, près de 40 % de la grossesse peut s'effectuer *ex vivo.*





l'information nécessaire pendant les quatorze premiers jours au moins."

Conduits dans le but de mieux comprendre les différents stades de développement de l'embryon, ces travaux ouvrent finalement de nouvelles perspectives. *"Techniquement,* reprend Ali Brivanlou, *nous pouvons aller au-delà des quatorze jours. Nous avons interrompu notre expérience uniquement pour des raisons éthiques, car la règle internationale stipule de ne pas dépasser ce délai. Mais les embryons étaient toujours en vie après deux semaines. Nous devrions pouvoir prolonger ce développement* in vitro *environ deux semaines de plus en enrichissant nos milieux de culture et en passant sur un modèle 3D pour restituer l'environnement* in utero. *Bien sûr, cela ouvre un débat éthique pour évaluer s'il est pertinent de prolonger ce travail."* Claire Chazaud, chercheuse au Laboratoire Génétique, reproduction et développement à l'Inserm, estime que l'embryon pourrait être autonome jusqu'à la mise en fonctionnement du placenta, c'est-à-dire pendant presque six semaines après la fécondation. Sous réserve de lui apporter les ressources nécessaires en nutriments et en hormones dans un environnement adéquat.

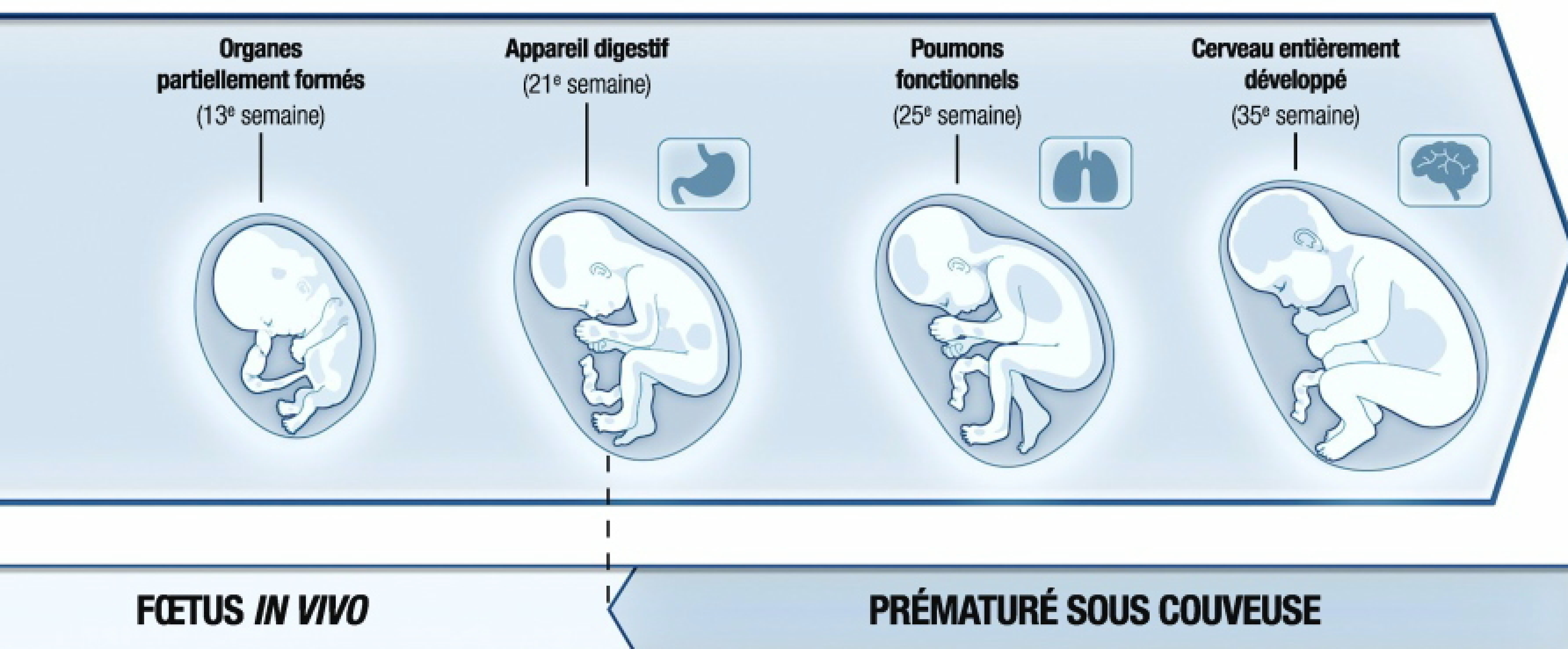
Que dit la loi ?

En France, la loi sur la recherche embryonnaire chez l'humain est passée d'un système d'interdiction avec dérogations (loi de 2004, renouvelée en 2011), à **une autorisation encadrée depuis 2013.** En 2016, 55 équipes sont légalement autorisées à effectuer des recherches sur l'embryon humain.

DES ANOMALIES CONSTATÉES

Plusieurs expériences ont été effectuées sur les animaux pour vérifier ces hypothèses. En 2002, Hung-Ching Liu, professeur en médecine reproductive à l'université Cornell, à New York, avait élaboré une matrice de cellules utérines de souris alimentée en nutriments et en hormones. Elle avait réussi à faire "pousser" un embryon pendant dix-sept jours, sur les vingt-et-un que dure la gestation. Anormal, l'embryon avait néanmoins fini par mourir. Dans le cas de l'étude menée par les universités Rockefeller et Cambridge, l'expérience de quatorze jours révèle la structuration d'une cavité amniotique, qui semble pourtant s'affaisser au douzième jour du développement embryonnaire. Ali Brivanlou le reconnaît: *"On ne sait pas si les embryons sont normaux étant donné que l'on n'a quasiment aucune donnée ni observation sur cette phase d'implantation chez l'être humain."* Claire Chazaud avertit: *"L'absence de tissu maternel et le fait que les cellules de l'embryon ne puissent l'infiltrer entraînent sûrement des anomalies."*

Les chercheurs ne s'intéressent pas seulement aux premières semaines d'existence du fœtus. Depuis cinquante ans, les principales avancées vers le développement *ex vivo* ont été réalisées… sur les derniers mois de grossesse. Des techniques de réanimation et d'assistance respiratoire, ainsi que la standardisation des traitements accélérant la maturation pulmonaire ont permis de réduire



Record de prématurité (1987)

la mortalité des prématurés. Dans les années 1950, 85 % des prématurés et nourrissons de moins de 1,5 kg mouraient à la naissance. En 2016, ils sont 85 % à survivre ! Au point que la gestation *in vivo* peut se limiter à cent soixante jours (cinq mois et dix jours), contre les deux cent quatre-vingt qu'impose théoriquement la nature…

Avec les avancées du développement *in vitro* d'un côté, et l'amélioration de la survie des prématurés de l'autre, l'humanité pourra-t-elle un jour se passer du corps des femmes pour se reproduire ? Certains chercheurs, comme Henri Atlan, médecin biologiste et auteur de *L'utérus artificiel* (éd. Seuil, 2005), estiment que cette ectogenèse représenterait une forme de libération des contraintes de la grossesse. Ce serait une nouvelle étape de la révolution de la condition féminine après la contraception, le droit à l'avortement et la fécondation *in vitro*. Une étape qui établirait une symétrie presque parfaite entre le rôle de l'homme et celui de la femme dans la procréation… franchissant un pas de plus vers la séparation totale entre sexualité et procréation. A l'inverse, Stuart Newman, professeur de biologie cellulaire et d'anatomie au New York Medical College, ne voit en l'ectogenèse qu'une dangereuse dérive scientifique.

Quoi qu'il en soit, un obstacle de taille reste à surmonter avant d'obtenir une ectogenèse fonctionnelle : la reproduction du placenta. L'organe de la gestation par excellence… Le placenta ressemble à une galette ancrée dans l'utérus qui se forme dès l'implantation de l'embryon. Son rôle ? Pourvoir aux besoins de l'embryon via le cordon ombilical à partir de la sixième semaine. Le placenta apporte ainsi l'oxygène, élimine le CO_2 et les déchets, permet le passage d'anticorps, sécrète des hormones, contribue à la production et à la réabsorption de liquide amniotique, transmet les émotions maternelles sous formes chimiques… *"La composition du placenta et*



D.R. - B.BOURGEOIS

ALI **BRIVANLOU**
Biologiste-chercheur à l'université Rockefeller, à New York

On pense que l'embryon pourrait se développer in vitro *pendant près de quatre semaines*

son intégration en profondeur dans l'utérus en font un organe d'une complexité inouïe, rappelle Pascale Chavatte-Palmer, chercheuse en biologie du développement et reproduction à l'Inra. *On connaît à peine une vingtaine des cent hormones qu'il produit !"*

ESPOIR POUR LES PRÉMATURÉS

Malgré tout, des recherches sont en cours pour élaborer des placentas artificiels simplifiés. Dès 1996, le chercheur Yoshinori Kuwabara, de l'université Juntendo de Tokyo, franchissait un premier pas en achevant *ex vivo* le développement d'un fœtus de chèvre prématuré, prélevé en cours de gestation. Branché sur cathéters, plongé dans un bain de liquide amniotique artificiel, le fœtus était arrivé à terme. Il présentait cependant des anomalies musculaires et respiratoires qui avaient entraîné sa mort en quelques jours.

George Mychaliska, de la faculté de médecine du Michigan (Etats-Unis), poursuit lui aussi un projet de placenta artificiel à destination des humains. Le principe de base est le même que celui de l'équipe japonaise : filtrer le sang du fœtus par un système de ventilation externe pour gérer les échanges gazeux en oxygène et CO_2. *"A vingt-quatre semaines, l'espérance de vie des prématurés est presque nulle en raison de l'immaturité des poumons, qui ne sont pas prêts à recevoir l'air insufflé par la ventilation artificielle. L'idée est donc de les laisser en repos en préservant le fluide dont ils sont remplis, le temps qu'ils poursuivent leur développement"*, explique-t-il.

Pour cela, il place deux cathéters : l'un sur le cordon ombilical pour prélever le sang ; l'autre dans une veine proche du cœur pour le réinjecter. Entre les deux, le sang circule dans une machine qui effectue les échanges gazeux nécessaires. Ajoutez à cela des nutriments administrés par une autre voie veineuse, des antibiotiques pour lutter contre les infections et des stéroïdes pour accélérer la maturation des poumons.

Le dispositif a été testé avec succès chez l'agneau. Grâce à ce placenta artificiel, des sujets prématurés ont survécu jusqu'à deux semaines alors que ceux mis sous ventilation artificielle sont morts. George Mychaliska pense lancer ses premières expérimentations chez l'homme d'ici cinq ans pour des fœtus nés à 23-24 semaines. *"On pourrait sauver des enfants nés à 22-23 semaines avec ce placenta artificiel."* Et en deçà ? *"Ce sera difficile pour des raisons techniques : la taille des cathéters doit être suffisante pour permettre des débits corrects."*

Comme d'autres chercheurs, le neurobiologiste Yehezkel Ben-Ari, directeur honoraire de l'Institut de neurobiologie de la Méditerranée, à Marseille, considère que les obstacles sont trop nombreux pour parvenir à une grossesse *in vitro*. Sans environnement intra-utérin, prévient-il, le développement cérébral ne peut avoir lieu : *"Le dialogue entre la mère et le fœtus est nécessaire à la formation du cerveau et aux connexions entre les neurones. Il est illusoire de vouloir placer un fœtus dans un incubateur et de le ressortir intact quelques mois plus tard !"* Un avis que ne partage pas Stuart Newman : *"Il n'y a en principe aucune limite au développement* ex vivo *de l'embryon et du fœtus, même jusqu'à terme !"* Les bébés se passeront-ils un jour du ventre maternel ? La question reste ouverte…

Les limites de la recherche

Actuellement, il est interdit d'élever des embryons humains en laboratoire au-delà de quatorze jours. Ce seuil a été proposé en 1979 par le comité d'éthique du ministère de la Santé américain. Choisi de façon arbitraire, il correspond au stade d'individuation de l'embryon. A l'époque, nul n'imaginant que la recherche permettrait de maintenir vivants des embryons aussi longtemps, il n'y avait pas d'inconvénient à fixer cette limite. Mais aujourd'hui, une partie de la communauté scientifique remet en question le statut moral attribué à l'embryon, considéré à ce stade comme un amas de cellules. Et certains considèrent que la limite éthique devrait être prolongée jusqu'au moment où l'embryon devient un fœtus.



EN SAVOIR PLUS ★ A consulter : les sites legifrance.gouv.fr et espace-ethique.org sur la législation française.

science-et-vie.com

Le premier ordinateur à base… de muscle de lapin !

Ce n'est pas une plaisanterie : des chercheurs ont mis au point un supercalculateur nanoscopique qui fonctionne avec des protéines extraites de muscles de lapin. Et ça marche ! **Kyrill Nikitine** nous détaille cet exploit de l'électronique organique.

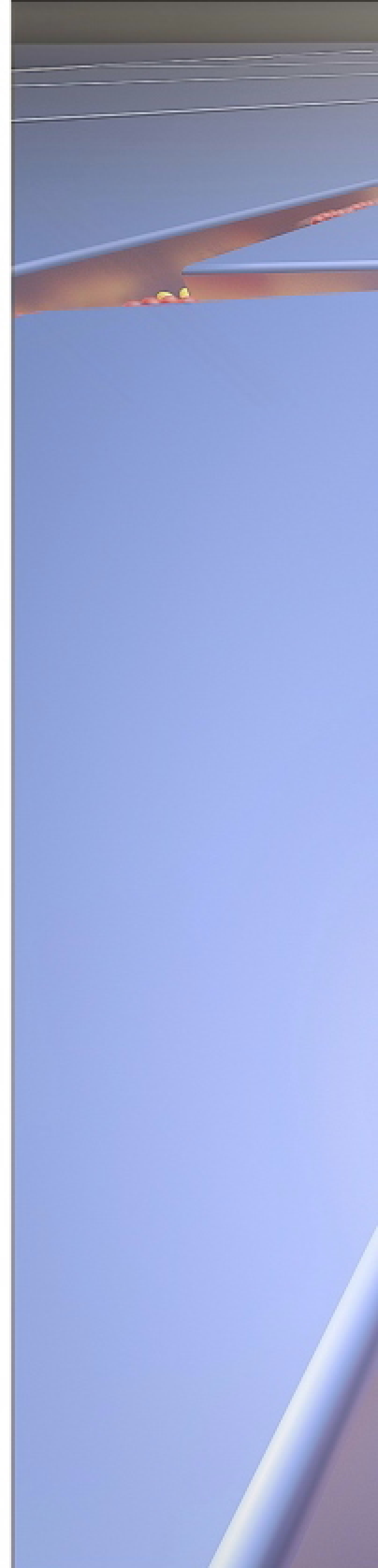
C'est un concept d'ordinateur radicalement nouveau. Le mot n'est pas trop fort. Qu'on en juge : ses circuits sont à base de myosine et d'actine, deux protéines organiques extraites de muscles de lapin. Oui, vous avez bien lu : extraites de muscles de pattes de lapin ! En clair : des protéines animales pourraient bientôt remplacer les électrons et les bons vieux circuits en silicium de nos ordinateurs. Il ne s'agit pas ici d'un ordinateur de seconde zone. Cette nouvelle architecture est pensée pour les calculs les plus complexes, ceux sur lesquels les machines actuelles se cassent les dents.

Selon ses concepteurs – parmi lesquels Heiner Linke, nanophysicien à l'université de Lund (Suède), et Dan Nicolau, chercheur en ingénierie à l'université McGill (Canada), à l'origine du concept –, le processeur composé de circuits organiques ne mettra que quelques secondes à résoudre des équations qui prendraient des mois à un microprocesseur multicœur tel que celui qui équipe votre ordinateur portable. L'équipe, qui a publié ses résultats en mars 2016 dans les *Actes de l'Académie américaines des sciences* aux Etats-Unis, présente même sa découverte comme une alternative crédible à l'ordinateur quantique, en attendant que celui-ci réussisse à dépasser le stade du prototype.

Son secret ? Sa capacité "naturelle" à effectuer plusieurs opérations simultanément, ce que les informaticiens appellent le "calcul parallèle". Ce fonctionnement innove par rapport aux microprocesseurs actuels qui sont conçus pour fonctionner de manière séquentielle, sur le principe d'une opération à la

Chronologie

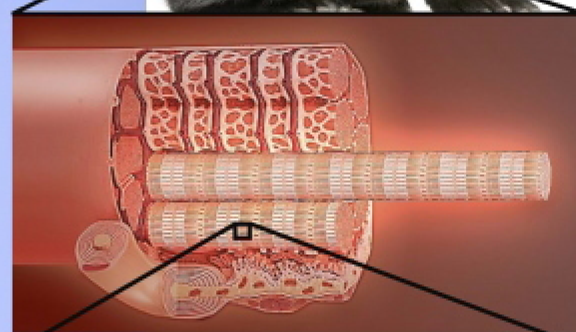
1906 Découverte de la photoconductivité de l'anthracène.
1948 Etudes autour d'un transistor à base de matière organique.
1960 De la lumière est obtenue avec un cristal d'anthracène placé entre 2 électrodes soumises à une différence de potentiel. 20 ans plus tard, Kodak présente la diode électroluminescente organique.
1977 Certaines propriétés conductrices des polymères organiques sont découvertes.

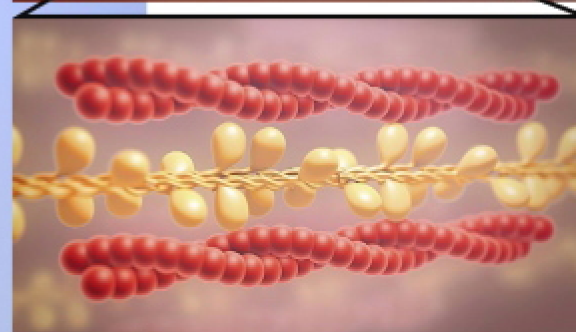


Des protéines à la place des électrons

Au cœur de la biopuce, des protéines (actine) extraites de muscle de lapin sont injectées dans des circuits lithogravés sur un support de silicium. A l'instar des électrons, c'est en circulant qu'elles réalisent des calculs.







fois, effectuée le plus rapidement possible. Apparus au début des années 2000, les processeurs multicœurs n'ont en effet permis que partiellement et artificiellement de pallier cette limite intrinsèque.

SIMULTANÉITÉ DES CALCULS

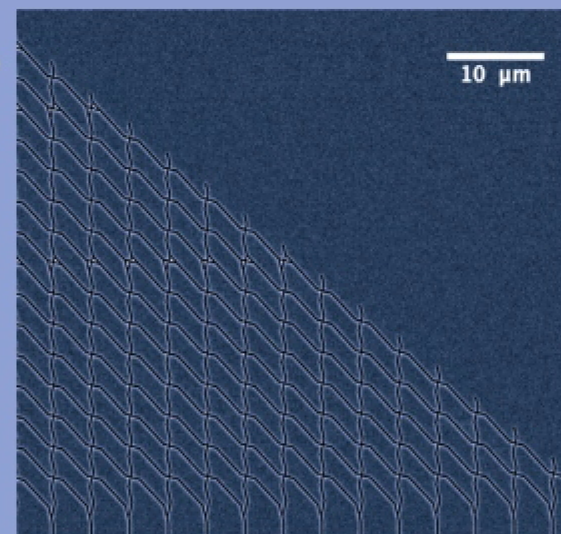
A l'inverse, l'ordinateur "superprotéiné" est adapté au calcul parallèle. Pourquoi ? Parce qu'il permet à un nombre élevé d'agents (les filaments d'actine, vecteurs de l'information, qui remplacent les électrons) de circuler simultanément dans ses circuits. *"L'idée nous est venue au début des années 2000,* raconte Dan Nicolau. *Nous avons imaginé utiliser une multitude d'agents biologiques, de préférence petits et rapides, pour résoudre des problèmes mathématiques complexes."*

Pour chaque calcul, l'ordinateur organique nécessite la fabrication d'un circuit spécifique. Ce dernier se présente sous la forme d'un support de dioxyde de silicium recouvert de Plexiglas, dans lequel est gravé un réseau labyrinthique par lithographie à faisceau d'électrons. Rien d'organique à ce stade: cette technique permet de graver les tunnels de taille nanométrique dans lesquels vont circuler les protéines une fois celles-ci mises en solution. Ces tunnels disposent de jonctions dans lesquelles les filaments d'actine peuvent changer de direction et effectuer l'équivalent d'une opération. La force du système réside donc dans son pouvoir d'injecter de nombreuses protéines dans le circuit: le signal ainsi subdivisé peut couvrir l'ensemble d'un circuit et

SHUTTERSTOCK - M.SAEMANN

Le premier calcul "super protéiné"

Le "bio-ordinateur" conçu par Heiner Linke, de l'université de Lund, en Suède, est parvenu à résoudre un problème typique de la complexité en mathématiques. En l'occurrence, il s'agissait de trouver toutes les sommes possibles à partir des trois entiers 2,5 et 9. La réponse peut se trouver de tête: c'est 0, 2, 5, 7 (5+2), 9, 11 (9+2), 14 (9+5) et 16 (9+5+2).



1. Chaque problème à résoudre passe par la mise au point d'un circuit dédié : un labyrinthe nanoscopique dans lequel les protéines sont injectées.



Heiner Linke

permettre la simultanéité des calculs. Et ça marche ! Avec sa machine, l'équipe est parvenue à modéliser et à résoudre un problème mathématique réputé complexe, consistant à trouver tous les sous-ensembles possibles obtenus en faisant la somme des éléments d'un ensemble de trois entiers : 2, 5 et 9 (voir ci-dessus). Avec un ordinateur conventionnel, le temps de résolution de ce genre d'équation augmente exponentiellement avec le nombre "n" d'éléments, à cause de la complexité liée aux choix à faire à chaque étape de l'opération, qui impliquent d'innombrables combinaisons à évaluer.

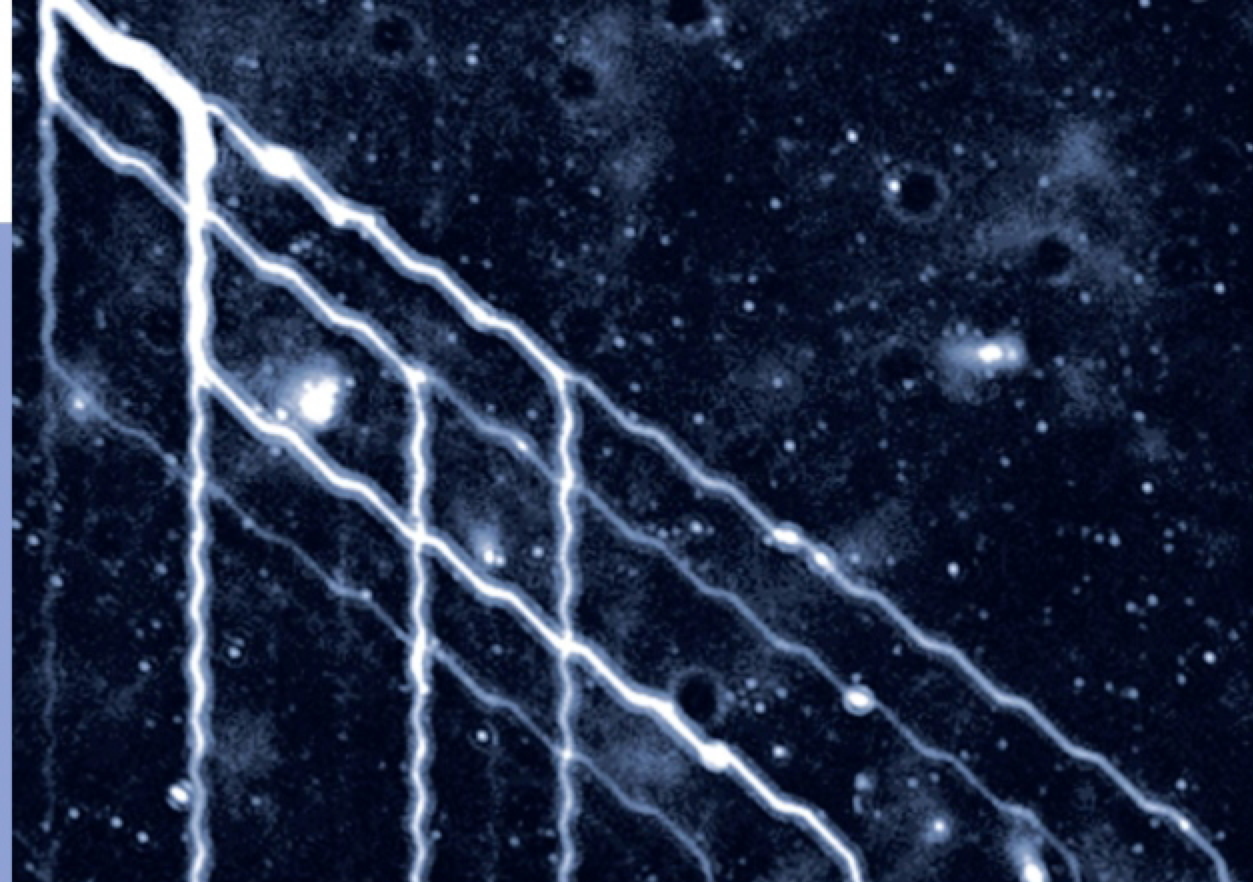
Ce type de casse-tête est courant en économie (rendement des portefeuilles, évaluation des risques…), dans la gestion d'espace et la logistique (optimisation des chargements dans les transports, calcul de l'itinéraire le plus court passant par 71 villes différentes…) ou dans l'industrie (efficacité de la découpe des matériaux…). Le microprocesseur classique doit tester chaque chemin candidat, dont le nombre total est supérieur à… 5×10^{80}, soit presque l'équivalent du nombre d'atomes dans l'Univers ! Ce qui nécessite de longs calculs…

99 % MOINS CHER

A l'inverse, il suffira de quelques minutes pour graver un circuit associé à ce problème, et de l'alimenter en protéines pour qu'il effectue le même calcul en quelques minutes. En résumé, l'ordinateur protéiné convertit la complexité d'un calcul en nombre d'agents présents dans le circuit, plutôt qu'en temps de fonctionnement. Ce qui fait la force du dispositif puisque les protéines sont disponibles dans

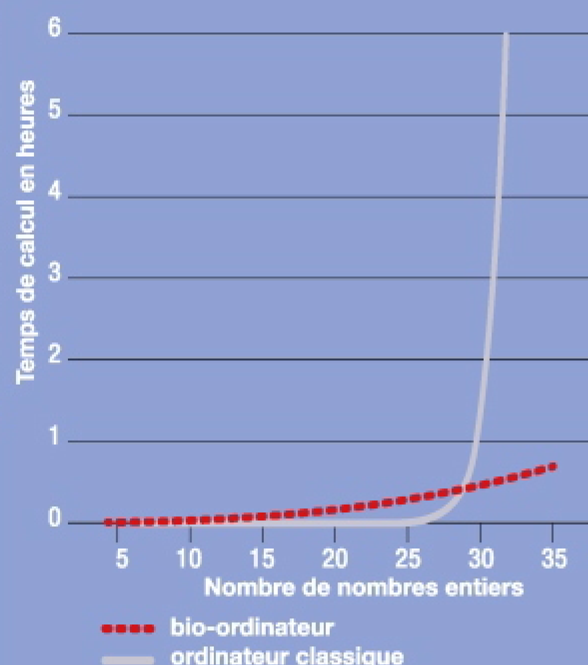
Vers des circuits biodégradables

Une équipe de l'université du Wisconsin (Etats-Unis) a annoncé en 2015 la mise au point de puces en nanofibrilles de cellulose, un dérivé du bois. Cette technique permet de miniaturiser les composants et de produire près de 1 500 transistors sur une portion de cellulose de 5 millimètres sur 6, contre environ 40 sur une surface équivalente en substrat classique. Elle présente aussi l'avantage de réduire le volume des composants à recycler en fin de vie. A l'exception de résidus d'or ou de silicone, les circuits électro-organiques deviennent en effet biodégradables grâce à un champignon qui accélère leur destruction. L'année dernière, le Karlsruhe Institute, en Allemagne, a également présenté des circuits à base d'amidon et de gélatine, avec des avantages équivalents.



2. Les protéines circulent selon les règles prédéfinies par les jonctions du labyrinthe : soit les jonctions les forcent à bifurquer, soit elles les dirigent vers l'une ou l'autre des deux directions possibles, ce qui correspond au fait d'effectuer ou pas une opération (exemple : ajouter 9, ou pas). L'ensemble des trajets empruntés donnent la réponse au problème.

3. Plus les nombres d'entiers à sommer sont nombreux, plus les calculs demandent du temps. Sauf pour l'ordinateur protéiné : lui calcule beaucoup plus vite (courbe ci-dessous).



la nature, à bas coûts. Autre atout : il est économe en énergie. La mobilité des protéines est en effet assurée naturellement par la myosine, qui joue le rôle de tapis roulant pour les filaments d'actine. Ces micromolécules se meuvent grâce à leur capacité à convertir l'énergie chimique en énergie mécanique. Chez les êtres vivants, le couple myosine-actine participe notamment au mécanisme de contraction des muscles. Pour alimenter en énergie leur bio-ordinateur selon ce principe, les chercheurs ont eu recours à l'ATP (adénosine triphosphate), présent dans la solution dans laquelle baignent les protéines. Cette molécule organique fournit l'énergie nécessaire aux réactions chimiques du métabolisme. Associée à l'ordinateur, elle permet une faible consommation énergétique. Selon les estimations, l'ordinateur protéiné ne nécessiterait plus que 0,25 milliwatt par mm² de circuit, soit 2 000 fois moins qu'un microprocesseur multicœur !

Le bio-ordinateur 2 000 fois moins énergivore que les calculateurs actuels

Non seulement l'ordinateur protéiné consomme peu, mais sa matière première – les protéines – est gratuite. Ajoutez à cela un processus de fabrication simplifié – il n'y a plus besoin de fusion, ni de chambre à vide, ni de coûteuses adaptations à chaque modification de circuit – et il devient possible de diminuer de 99 % les coûts, comparé aux circuits en silicium. L'utilisation de molécules du vivant à la place des électrons pour effectuer des calculs n'est pas une première – c'est le concept du *biocomputing*, notamment basé sur l'ADN – mais elle relance l'espoir d'une alternative au silicium. Peut-on pour autant imaginer une fin possible des composants électroniques ? Pas vraiment. *"Notre 'ordinateur' est primitif, les difficultés sont devant nous. Nous n'aboutirons pas avant une dizaine d'années,* estime Dan Nicolau, qui précise : *Ces bio-ordinateurs ne remplaceront pas les machines électroniques. Car s'ils sont meilleurs pour résoudre certains problèmes, l'inverse est vrai aussi."* En l'état, ils sont adaptés au traitement de problèmes spécifiques, incompatibles avec des problèmes basiques. L'avenir pourrait en revanche passer par des supercalculateurs hybrides, fondés sur le silicium et l'organique. Un mariage pour le meilleur entre l'électronique et le vivant.

MIKAEL RISEDAL/TELIA.COM - H.LINKE ET AL



À voir : le film qui montre l'ordinateur de Heiner Linke en train de calculer ; la publication sur les travaux de l'équipe.

* EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



Mélangées à de l'eau, les émissions de CO_2 de cette centrale géothermique sont stockées dans le sous-sol : en y réagissant avec le calcium, le magnésium et le fer, le CO_2 s'y transforme en minéraux, les carbonates (photo).

ISLANDE

Une usine commence à **minéraliser le CO_2**

Transformer en roche le dioxyde de carbone (CO_2) émis par les activités industrielles pour l'emprisonner et préserver ainsi le climat de l'effet de serre… C'est l'idée de CarbFix, un projet mené depuis 2012 à la centrale géothermique d'Hellisheidi, en Islande. Le principe: il s'agit d'injecter entre 400 et 800 m de profondeur le CO_2 émis par le site dans le sous-sol basaltique volcanique. Mélangé à de l'eau, le dioxyde de carbone réagit alors avec le calcium, le magnésium et le fer contenus dans les roches pour former de nouveaux minéraux: des carbonates. Premier bilan: selon l'équipe internationale qui mène le projet, plus de 95 % du CO_2 ainsi injecté a été minéralisé sur une période de moins de deux ans, dépassant les pronostics les plus optimistes! Sans compter que *"ce système diminue les risques environnementaux ou de fuite par rapport aux technologies classiques de séquestration* [qui consistent à stocker le CO_2 sous terre, sous forme de gaz]. *Il permet de piéger le dioxyde de carbone de manière stable et sécurisée"*, souligne Pascal Audigane, spécialiste de ces questions au Bureau de recherche géologique et minière (qui n'est pas impliqué dans le projet). Selon les chercheurs, cette technologie aurait également l'avantage d'être peu coûteuse, car le CO_2 n'a pas besoin d'être purifié. Une solution prometteuse donc… à condition de confirmer son efficacité à grande échelle et de réduire sa consommation d'eau, qui est aujourd'hui de 25 tonnes par tonne de CO_2 injectée. **C.C.**

GUNNAR SVANBERG SKULASON/OR



Paris

Le futur **métro récupérera l'énergie au freinage**

Les futures rames du métro parisien, baptisées MP14, seront dotés d'un système de freinage totalement électrique qui permettra de récupérer l'énergie et de la réinjecter dans le réseau. Résultat attendu : jusqu'à 20 % de baisse de la consommation d'énergie par rapport aux rames les plus récentes. Autre avantage : une réduction des émissions de particules fines dues aux freins mécaniques. Premiers tours de roues attendus dès 2019 sur la ligne 14 (Saint-Lazare-Mairie de Saint-Ouen). **E.T.-A.**



New York

Une **ferme à grillons** au secours des **victimes** de **crise alimentaire**

Pour nourrir les populations en situation d'urgence (séisme, destruction des récoltes…), l'organisme new-yorkais Terreform One a créé une ferme en forme de grotte en plastique baptisée Cricket Shelter. Comme son nom l'indique, cet étrange objet héberge des grillons (jusqu'à 22 000 !), un insecte reconnu pour sa richesse en protéines. *"Nous avons effectué des mois de recherche sur l'architecture la plus adaptée au cycle de vie des grillons"*, explique Mitchell Joachim. Résultat : 224 boîtes empilées les unes sur les autres avec un système de ventilation, une chambre des naissances… L'idée est de pouvoir assembler rapidement cette structure en cas de crise, puis d'élever et récolter les insectes pour les transformer en farine alimentaire. Selon le chercheur, il est encore trop tôt pour dire quand elle sera utilisée sur le terrain. **L.B.**

TOULOUSE

Les premiers **lampadaires qui détectent les piétons** ont fait leurs preuves

Intégré aux lampadaires à LED, le boîtier Kara analyse les mouvements des ombres produites par un piéton, une voiture ou un vélo dans un rayon de 30 m, et adapte l'éclairage. *"La luminosité est de 10-15 W en lumière de fond, soit sept fois l'intensité de la pleine lune,* explique Yves Le Hénaff, fondateur de l'entreprise Kawantech à l'origine du concept. *Mais dès qu'un piéton est détecté, l'intensité monte à 100 W en seulement quatre secondes, avant de redescendre après une minute."* Depuis 2015, une quarantaine de lampadaires ont ainsi été testés à Toulouse. A la clé: de 65 à 83 % d'économie d'énergie *"là où il y a le moins de passage"*, estime Yves Le Hénaff. **E.T.-A.**

ALSTOM - TERREFORM ONE - DR

Idée neuve



S'INSPIRER DE LA RAIE POUR PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ

Yo Tanaka, directeur du Laboratoire de bio-ingénierie de l'institut Riken, au Japon

Yo Tanaka a imaginé une piste étonnante pour générer de l'électricité. Il s'est inspiré de la torpille, plus connue sous le nom de raie électrique. *"Dans un premier temps, nous avons démontré que la production d'électricité est contrôlée chez elle par une stimulation chimique externe stockée sous forme d'ATP* [adénosine triphosphate, une molécule]*"*, explique-t-il. Puis, dans un deuxième temps, il a, avec son équipe, prélevé l'organe producteur d'électricité et réussi à obtenir *in vitro* jusqu'à 1,5 V pour 0,64 milliampère de courant continu en y injectant un neurotransmetteur, l'acétylcholine. L'opération a pu être répétée plusieurs fois et l'organe a été préservé intact toute une journée, avec un rendement proche de 100 %. Selon le chercheur, cette découverte pourrait permettre de développer des générateurs électriques basés sur le même principe, car l'acétylcholine se synthétise facilement en laboratoire et se conserve longtemps pour un prix abordable. *"La production serait ainsi propre et beaucoup plus sécurisée que dans une centrale classique"*, conclut Yo Tanaka. **S.D.**



ROYAUME-UNI

Un signal codé promet de mieux contrôler les I.A.

A l'origine de l'intelligence artificielle (I.A.) championne du jeu de go, DeepMind, filiale de Google, réfléchit au moyen de stopper une I.A. qui deviendrait incontrôlable. En effet, les actions de ces machines, capables d'apprendre et de décider toutes seules, peuvent être imprévisibles. Ainsi, récemment, pour ne pas perdre à Tetris, l'une d'elles a-t-elle choisi de mettre le jeu sur "pause" indéfiniment! D'où la question: comment neutraliser une machine désobéissante dans une situation critique? Réponse: en la manipulant. Le signal codé imaginé par Google est inséré au cœur du logiciel et permet de lui faire croire que la décision de s'arrêter vient de lui, et non d'un opérateur extérieur. **S.F.**

ROYAUME-UNI

Premières installations de vitrages solaires

On installe souvent les panneaux solaires sur les toits. Or, la production électrique serait bien plus importante si les bâtiments tout entiers collectaient les rayons du soleil. Pour ce faire, l'entreprise Polysolar a créé une vitre photovoltaïque. Transparente à 50 %, elle est couverte d'une couche ultrafine de silicium imprimée directement sur le verre. Si son rendement (8 %) est inférieur de moitié à celui des panneaux habituels, cette technologie fonctionne en revanche à faible luminosité et sur de plus grandes surfaces. Serres, vérandas, bureaux commencent à en être équipés. **L.B.**

Suède

Une **route "électrique" pour camions** entre en phase de test

La première route capable de fournir de l'électricité à des véhicules lourds est suédoise. Le principe : des caténaires situées 5 m au-dessus de la chaussée alimentent en courant de 750 V un camion hybride (diesel à assistance électrique) raccordé par un pantographe (comme pour les tramways). Le camion peut rouler en mode 100 % électrique jusqu'à 90 km/h, et repasser en mode normal dès qu'il sort de la voie. Celle-ci ne mesure pour l'instant que 2 km, mais elle pourrait être déployée à plus grande échelle à l'issue de tests qui dureront jusqu'en 2018. La Suède vise un objectif de zéro émission de carbone pour tous ses transports d'ici à 2030. **S.F.**





SCANIA CV AB - IRISHTECHNEWS

Rendez-vous en... **2022**

DU BOIS "ARMÉ" REMPLACERA LE BÉTON DANS LES IMMEUBLES

Et pourquoi, au lieu du béton, n'utiliserait-on pas du bois, matériau naturel et renouvelable, pour construire les villes de demain ? Le problème, c'est que jusqu'ici il n'était pas assez résistant pour bâtir des immeubles de plus d'une dizaine d'étages. Il en fallait pourtant plus pour arrêter Timothée Boitouzet. Ce jeune architecte français s'est mis en tête, il y a quelques années, à l'université Harvard (Etats-Unis), de fabriquer du bois "armé". Pour ce faire, il a littéralement passé ce matériau au microscope et, grâce aux techniques de la biologie moléculaire, retiré du bois la lignine et comblé les interstices d'air naturellement présents à l'aide d'un monomère bio-sourcé (tenu secret). Le résultat ? Surprenant ! Non seulement son "nouveau" matériau composite a un aspect légèrement translucide tout en conservant les veines du bois, mais, surtout, il est devenu trois fois plus rigide que le bois massif. Baptisé "Woodoo", celui-ci pourrait, dans un premier temps, d'ici un an ou deux, servir à fabriquer du mobilier d'intérieur, des planchers et des toitures. Puis, espère Timothée Boitouzet, d'ici cinq ans, des tours de 30 à 35 étages. **L.B.**

ÉTATS-UNIS

Des **robots dépanneurs** de **satellites** sont à l'étude

La Nasa prévoit d'envoyer dans l'espace un robot dépanneur pour satellites en détresse. Restore-L, c'est son nom, est une sonde robotisée dotée d'un bras capable de refaire le plein de carburant ou d'effectuer des réparations jusqu'ici réalisées par des astronautes – aider au déploiement de panneaux solaires coincés ou réorienter une antenne de communication –, prolongeant ainsi la durée de vie des missions spatiales à moindre coût. Une première mission devrait être lancée en 2020 pour tester ce bras sur *Landsat 7*, placé en orbite en 1999 et bientôt à sec. A plus long terme, des Restore-L positionnés le long des routes spatiales pourraient servir de stations-service de l'espace lors de missions vers Mars… ou plus loin encore. **S.F.**



NASA

LA SCIENCE & LA VIE



NASA - DR - ALICE S. / BSIP



Automédication

Les Français rechignent toujours

"Les Français consomment beaucoup de médicaments." Difficile de passer à côté de l'information, tant notre statut de "champions" dans ce domaine est souvent souligné. Pour être exact, il faudrait ajouter "sur ordonnance". Car si les Français achètent chaque année 3,1 milliards de boîtes de médicaments (soit 48 par personne), c'est surtout grâce à leur(s) médecin(s) prescripteur(s). Comparés à nos voisins, nous sommes assez peu portés sur l'automédication : un médicament sur sept est acheté sans ordonnance ni recommandation d'un médecin en France, contre un sur quatre en moyenne en Europe.

Il est vrai que pour les pathologies graves, la consultation est indispensable. En cela, ce réflexe très français d'aller voir son médecin est tout à fait justifié. Mais en cas de petit tracas de santé (douleurs, rhume, fatigue, problèmes digestifs, dermatologiques ou circulatoires), pourvu qu'on n'y ait pas recours de façon inconsidérée et qu'on prenne conseil auprès d'un pharmacien, l'automédication ne présente pas de risque – c'est même le meilleur moyen de pouvoir se soigner rapidement.

Se rendre à l'officine pour acheter un traitement en vente libre et le payer "de sa poche" n'est toutefois pas encore rentré dans les mœurs. Et ce n'est pas le prix, très accessible, des médicaments concernés qui le justifie : une boîte nous coûte en moyenne 4,58 euros, contre 6,16 euros dans les autres pays européens (avec un maximum de 9,40 euros en Allemagne).

L'explication est plutôt à chercher du côté de notre culture de la prise en charge des frais de santé par la collectivité. *"Il y a certaines réticences, au premier rang desquelles la question du non-remboursement*, souligne Catherine Sermet, directrice adjointe de l'Institut de recherche et documentation en économie de la santé. *Les Français ne sont pas habitués à payer pour se soigner. Quand un médicament existe sous une forme remboursée, ils préfèrent se faire prescrire cette dernière."*

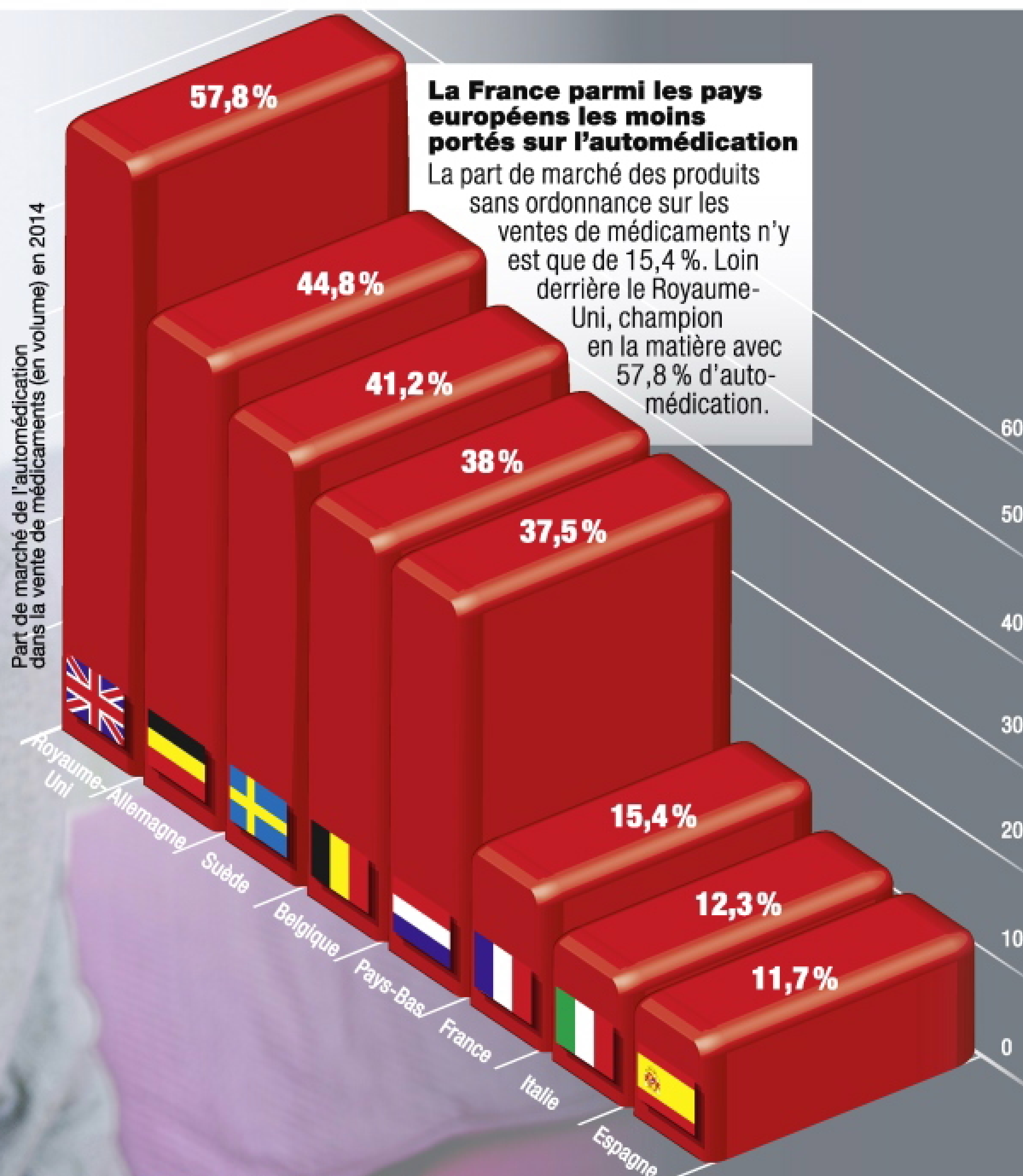
UNE CONSULTATION SUR SEPT EST INUTILE !

Les médecins, historiquement le "point d'entrée" des patients dans le système de santé, ne sont pas non plus forcément prêts à abandonner leurs ordonnances. Pourtant, en France, on estime que l'objet d'une consultation sur sept aurait

LE RAPPEL DES FAITS

En 2008, l'ANSM a autorisé la **vente en accès direct d'environ 500 médicaments** dans les pharmacies. Et depuis 2013, **acheter des médicaments sans ordonnance en ligne est légal,** à condition que le site soit le prolongement virtuel d'une officine réelle.

ALICE S./BSIP - D.R. - M.KONTENTE

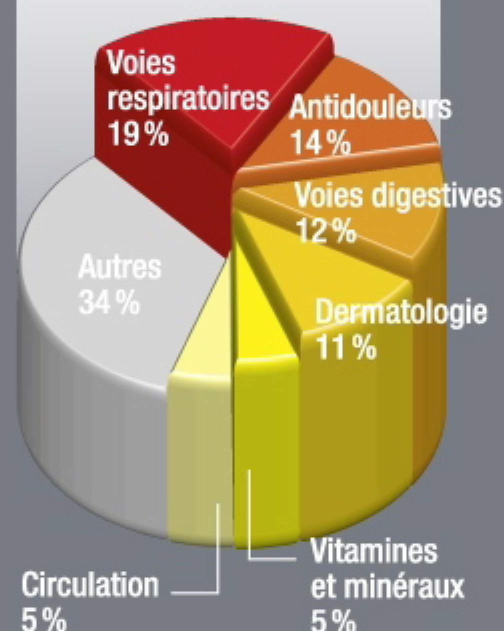


1 sur 7

C'est le nombre de médicaments achetés sans ordonnance en France, contre 1 sur 4 en moyenne en Europe.

Rhume, toux et douleurs davantage concernés

Les traitements de ces maux représentent 33 % des ventes hors prescription en 2015, soit 1,2 milliard d'euros.



pu être pris en charge par le patient. *"Les médecins n'incitent pas, dans l'ensemble, à l'automédication. Par peur de perdre de la clientèle, mais aussi par crainte des effets indésirables liés à un mauvais usage ou à une interaction avec les traitements prescrits"*, poursuit Catherine Sermet.

Les pouvoirs publics, eux, soufflent le chaud et le froid. Des mesures encourageant l'automédication ont bien été mises en place. L'autorisation de la vente de médicaments en ligne, ou l'instauration de l'accès direct dans les officines pour quelque 500 références ont été, à ce titre, des signaux forts.

Mais des maladresses ont eu des effets contre-productifs. *"La confusion entre médicaments sans ordonnance et médicaments inefficaces persiste, et cela nuit au marché"*, explique Daphné Lecomte-Somaggio, déléguée générale de l'Afipa, association qui représente les industriels du marché du *self-care* (gestion de sa santé par le patient lui-même).

Cette association d'idées a été engendrée par les autorités de santé elles-mêmes, lors des premières vagues de déremboursement de médicaments au service médical rendu insuffisant (autrement dit inefficaces). *"Ces médicaments ont été*



DAPHNÉ **LECOMTE-SOMAGGIO**

Déléguée générale de l'Association française de l'industrie pharmaceutique pour une automédication responsable

La confusion persiste entre médicaments sans ordonnance et médicaments inefficaces



Attention aux risques si on se soigne tout seul contre...

Prendre un médicament n'est jamais anodin. Et s'il est pris à trop fortes doses, ou trop longtemps, s'il est combiné à d'autres traitements ou s'il n'est pas adapté au patient, les risques pour la santé sont réels. Les voici, pour les principales catégories de maux concernés par l'automédication.

... LA FATIGUE

Les vitamines et minéraux ne sont pas forcément inoffensifs. Les effets à long terme (comme l'apparition de maladies chroniques) d'une prise régulière de ces compléments alimentaires sont à l'étude.

... LA DOULEUR

Les surdosages de paracétamol (Doliprane®, Efferalgan®…) exposent à un risque de toxicité hépatique ; la prise prolongée de codéine (Prontalgine®…) à un risque de dépendance ; et l'ibuprofène (Advil®, Nurofen®…) à fortes doses ou sur le long terme à un risque d'ulcère de l'estomac ou du duodénum.

... LES PROBLÈMES DERMATOLOGIQUES

Les dermocorticoïdes à base d'hydrocortisone (antidémangeaisons) ne doivent pas être utilisés de façon prolongée ou répétée sans avis médical (risque de réaction cutanée surtout en cas d'exposition au soleil).

... LES TROUBLES DIGESTIFS

Les médicaments contre la diarrhée (Imodium®…) ou les nausées et vomissements (Vogalib®…) ne doivent être pris qu'en cas de symptômes simples et bien identifiés. S'il y a de la fièvre ou au retour d'un voyage, il faut consulter.

déremboursés et, dans la foulée, les consommateurs les ont retrouvés en vente libre. Le signal envoyé a été très néfaste pour l'automédication. Depuis, il est vraiment difficile d'inverser la tendance", confirme Catherine Sermet.

LA QUESTION DÉRANGE

Les pouvoirs publics restent, de manière générale, mal à l'aise avec la question, freinés par les éventuels problèmes de sécurité sanitaire qui pourraient provoquer des décès (interactions médicamenteuses, surdosages, prise d'anciens médicaments qui ne sont plus adaptés…) et la crainte d'une possible surconsommation globale.

Par ailleurs, *"des inquiétudes persistent autour de l'émergence d'une médecine à deux vitesses*, ajoute Daphné Lecomte-Somaggio. *Alors qu'il serait possible d'imaginer une prise en charge par la Couverture maladie universelle, ou une enveloppe de crédit annuel chez le pharmacien pour les populations fragiles"*.

Tous les pays européens ont pourtant pris des mesures politiques et administratives pour mettre l'automédication au cœur de la politique de santé et du parcours de soins. Alors pourquoi pas la France? Pour Daphné Lecomte-Somaggio, *"il y a sans doute une peur de dire aux Français que pour préserver notre système de santé, l'un des meilleurs au monde, et assurer la prise en charge des pathologies lourdes, il va falloir que l'Etat se désinvestisse des maux bénins"*.

Mais les choses pourraient bien changer. Déjà, en janvier, Marisol Touraine, ministre de la Santé, déclarait : *"L'automédication constitue un enjeu important de santé publique. Des travaux sont actuellement en cours, en collaboration avec l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé et les industriels, afin de développer une automédication responsable."*

Car il ne faut pas oublier qu'une baisse massive des dépenses de santé est en jeu. Les économies attendues seraient en France de l'ordre de 535 millions



CATHERINE **SERMET**
Directrice adjointe de l'Institut de recherche et documentation en économie de la santé

Les Français ne sont pas habitués à payer pour se soigner, et les médecins aussi ont des réticences

BURGER/PHANIE - D.R.



... LE RHUME OU LA TOUX

Combinée au paracétamol, la pseudoéphédrine (Fervex®, Dolirhume®…) utilisée pour la décongestion nasale décuple les risques d'accident cardio-vasculaire ou neurologique. Les sirops contre la toux sèche, à base d'opiacés (Code-Drill®…), ne doivent pas être pris en cas d'insuffisance respiratoire ou de toux liée à l'asthme (risque de constipation, nausées, vertiges, somnolence dangereuse au volant).

Médicaments aromatisés pour adultes : un argument marketing dangereux ?

Courants (et utiles) en pédiatrie, les médicaments aromatisés fleurissent dans les pharmacies, mais désormais au rayon adulte. Efferalgan® cappuccino, Fervex® framboise ou Smecta® fraise, il y en a pour tous les goûts… bien que ces produits ne fassent pas l'unanimité. Le 15 août, la députée Michèle Delaunay a adressé une lettre à la ministre de la Santé, estimant que les industriels devaient *"cesser de développer des produits qui ont pour seul objet de séduire des consommateurs"*. Elle craint *"pour les plus jeunes"*, chez qui *"ce goût attrayant"* pourrait entraîner *"une surconsommation potentiellement dangereuse"*, et demande un encadrement de ces produits. Un avis partagé par Alain Astier, chef du service pharmaceutique de l'hôpital Henri-Mondor (Créteil), qui dénonce *"une tendance ridicule, sans avantage pour le patient et potentiellement dangereuse, qui ne sert que les intérêts financiers des fabricants"*.



d'euros par an si les mesures nécessaires étaient prises – 75 millions d'euros ont déjà été économisés en 2015 sur les coûts de consultation grâce à l'automédication. Sachant que le déficit de la sécurité sociale est d'environ 6,5 milliards d'euros pour la branche de l'assurance maladie.

"Dans un contexte où des médicaments très onéreux arrivent sur le marché pour soigner des pathologies graves, et où l'on fait face à une difficulté de financement, il est tout à fait légitime de développer l'automédication pour les petites pathologies, confirme Catherine Sermet. *Les patients doivent, bien sûr, être accompagnés par les pharmaciens."* Car ce sont eux qui sont au cœur du système, qui vendent les produits d'automédication et orientent vers un médecin en cas de problème.

ÉNORME MARCHÉ POTENTIEL

Quant aux industriels, ils sont évidemment très impliqués, tant le marché qui pourrait s'ouvrir à eux est important. Une campagne sur les bons réflexes de l'automédication a d'ailleurs été lancée cette année par l'Afipa. *"Nous communiquons également avec les équipes des candidats à la présidentielle pour leur expliquer que l'automédication responsable, accompagnée par les pharmaciens, doit être intégrée au système de santé"*, précise Daphné Lecomte-Somaggio.

Le marketing se fait aussi plus agressif, avec la multiplication de produits au goût vanille, fraise ou cappuccino (lire ci-dessus). *"Nous cherchons à rendre nos produits plus attractifs et à faciliter la démarche d'automédication"*, admet la représentante de l'Afipa.

Une démarche qui, même si elle a des avantages, n'est pas sans risques (voir encadrés). Risques potentiels d'un côté ; économies de temps pour le malade et d'argent pour le système de santé de l'autre… L'automédication illustre bien la complexité du lien qui existe entre les Français et leurs médicaments.

Héloïse Rambert

Pour aller plus loin :
www.science-et-vie.com



Transports en commun

Téléphérique : pourquoi il arrive en ville

Oubliez la montagne : bientôt, vous pourrez emprunter un téléphérique… en ville. Et d'abord à Brest, où va être inaugurée cet automne la première ligne française de transport par câble urbain. Elle reliera les deux rives de la Penfeld, le fleuve côtier finistérien.

Ceci n'est qu'un début. Le téléphérique brestois précède plus d'une dizaine de projets à travers la France, dont cinq seront menés à terme avant 2022 (voir carte ci-contre). Les téléphériques urbains se distinguent de ceux que vous avez pu utiliser pour vous rendre sur les pistes : plus stables, plus silencieux, ils se fondent dans la ville pour devenir de vrais transports en commun.

PEU COÛTEUX ET PRATIQUE

La France n'est pas la pionnière en la matière : à Medellin (Colombie) ou à Caracas (Venezuela), le téléphérique permet depuis une dizaine d'années de rallier des quartiers peu desservis tout en évitant les problèmes de circulation. *"Le téléphérique désenclave facilement certaines zones urbaines qui posent des problèmes de franchissement"*, explique Sébastien Lopez, chef de projet et référent en transport par câble urbain chez Transamo, un cabinet d'ingénierie spécialisé dans les infrastructures urbaines. Il est en effet plus simple de survoler une ville que de la sillonner au travers de rues parfois tortueuses.

À Brest, c'est un fleuve qu'il fallait franchir. Pourquoi ne pas construire un pont ? Trop cher : il aurait coûté le double des 19 millions d'euros investis pour le téléphérique. *"Le transport par câble nécessite peu d'aménagements. On pose des pylônes, et c'est tout !"* précise Sébastien Lopez. Si le téléphérique a tant la cote dans les projets d'urbanisme actuels, c'est parce qu'il est rapide à réaliser : *"Depuis les années 1980, la mode était au tramway. Mais sa mise en place nécessite que l'on redessine la ville"*.

LE RAPPEL DES FAITS

Le 18 novembre 2015, une ordonnance parue au *J.O.* autorise les transports aériens par câble en zone urbaine. Elle met fin à une interdiction en vigueur depuis 1941 et ouvre la voie au développement du téléphérique en France.



SÉBASTIEN **LOPEZ**

Chef de projet chez Transamo

> Avec le transport par câble, on pose des pylônes et c'est tout !



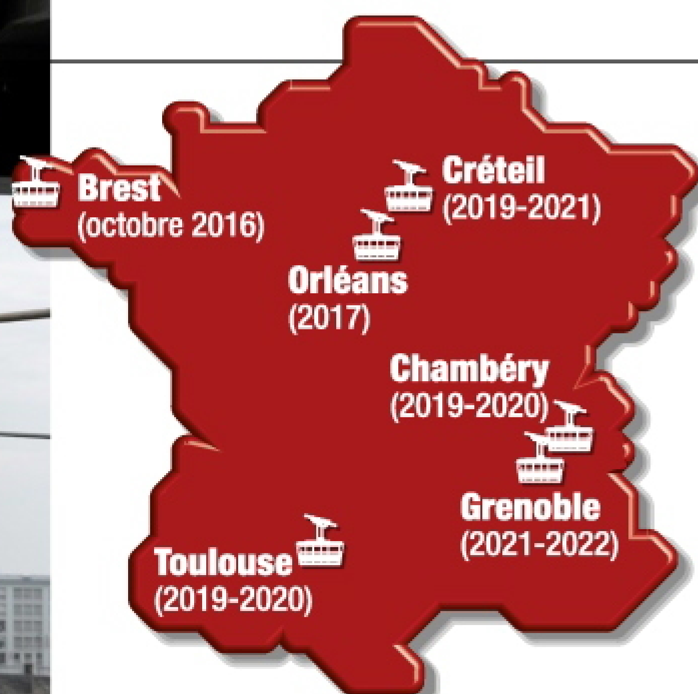
EN CHIFFRES

65 %

C'est la proportion d'étudiants actuels qui exerceront en 2025 un métier qui n'existe pas aujourd'hui, d'après une analyse de The Future Laboratory et Microsoft. Bienvenue aux designers d'habitats virtuels et autres avocats en technologie éthique…

11

C'est le nombre de pays européens, dont la France, où le cancer est la première cause de décès, d'après l'*European Heart Journal,* devant les maladies cardio-vasculaires dont la prévention et le traitement se sont améliorés.



Après Brest, cinq autres villes françaises disposeront de téléphériques d'ici à 2022.

Autre avantage : le transport urbain par câble est peu énergivore. Contrairement à la plupart des cabines utilisées dans les stations de ski, tractées par un seul câble, les téléphériques urbains seront, eux, équipés de deux, voire trois câbles. Ce dispositif limite les pertes énergétiques liées aux frottements générés par les pylônes. Voilà qui explique pourquoi Ségolène Royal a intégré le téléphérique au plan d'action commun Etat-régions, lancé en 2015 en faveur de la transition énergétique.

Enfin, ce mode de transport est confortable, à condition de *"compenser les désagréments liés habituellement au transport par câble,* précise Sébastien Lopez. *A la montagne, les téléphériques font du bruit. Ceux développés pour les villes sont silencieux et plus stables."* Et de la stabilité, il en faut à Brest, la deuxième ville plus venteuse de France. Bonne nouvelle : les téléphériques actuels sont conçus pour suppor des rafales de plus de 100 km/h. *"Lors de l'ouragan Sandy à New York, le téléphérique a été le dernier système à être arrêté, et le premier à reprendre !"* rappelle l'expert.

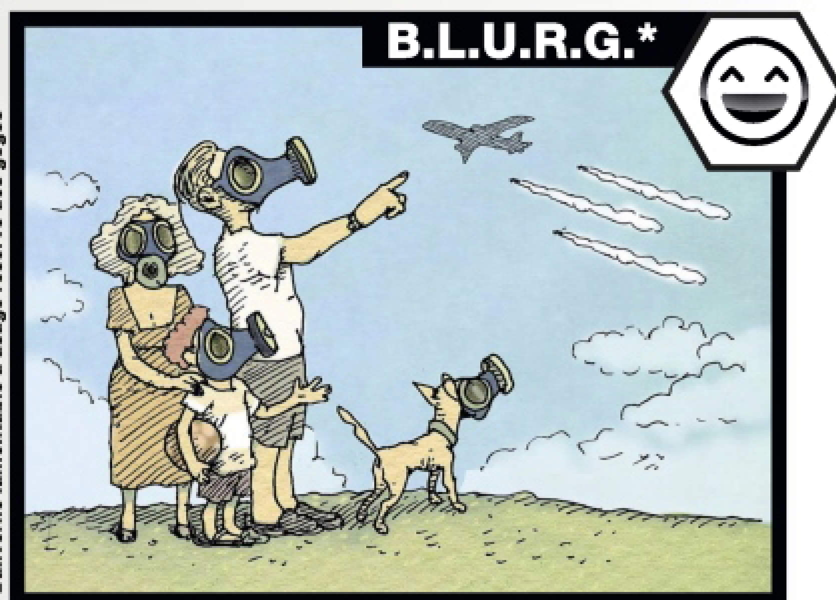
En revanche, les cabines ne pouvant embarquer plus de 200 passagers, le téléphérique ne remplacera pas les autres moyens de transport. Il se contentera d'apporter une solution complémentaire.

Clément Plantureux

FRED TANNEAU/AFP PHOTO - DR - SHUTTERSTOCK - S. AQUINDO

30 %

… des utilisateurs de smartphones ont déjà constaté des modifications physiques de leur main (pouce dominant plus grand, creux au niveau de l'auriculaire où repose l'appareil), d'après l'entreprise de téléphonie mobile anglaise O_2.



* Baliverne lamentable à usage réservé des gogos

Avions et traînées toxiques : cherchez la preuve

Sur internet, les témoignages accablants se multiplient, photos et échantillons à l'appui. Tout prouverait que les traînées blanches laissées dans le ciel par les avions de ligne cachent une vaste opération secrète d'épandage de produits chimiques. Blurg ! évidemment. Les fameuses "preuves" de cet hypothétique complot planétaire ont été récemment soumises à un panel de 77 chimistes de l'atmosphère. Pour qui le phénomène n'a rien de mystérieux : ces nuages effilés se forment par condensation de la vapeur d'eau autour des résidus de combustion éjectés par les réacteurs. Leurs réponses aux arguments complotistes sont une bonne leçon de zététique. Car comment expliquer les photos de ciel zébré de traînées comme on n'en voyait jamais avant ? Il faut y voir l'effet de l'augmentation du trafic aérien, de l'altitude plus élevée des avions actuels, qui évoluent dans une atmosphère froide propice à la condensation, ainsi que l'influence des nouveaux moteurs plus efficaces dont les gaz d'échappement sont moins chauds. Oui mais… Ces images de traînées qui s'interrompent comme si elles obéissaient à la commande du pilote ? N'y voyez rien d'autre, répondent nos chimistes, que la traversée d'une couche d'air chaude ou sèche. Que penser alors des analyses montrant des taux élevés de baryum, strontium et aluminium au sol et dans l'air ? Rien d'étonnant vu la piètre qualité de ces prélèvements et la présence naturelle de ces éléments dans la croûte terrestre. Au final, on se demande quel serait l'intérêt de déverser des produits nocifs à si haute altitude. Mieux vaudrait empoisonner l'eau potable… Mais c'est une autre histoire.

Vincent Nouyrigat

Récoltes catastrophiques en France

Nos cultures sont de plus en plus fragilisées par le climat

Les rendements du blé sont devenus erratiques

Après une période de forte croissance, les rendements du blé tendre – dont on fait la farine – plafonnent depuis les années 1990. Cette céréale subit désormais les aléas climatiques liés, notamment, au réchauffement (sécheresses, canicules, inondations).

Rendement national (en tonnes par hectare)

2 3 4 5 6 7

1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

SOURCES : FAO STAT, INTERACTIF ET AGRESTE

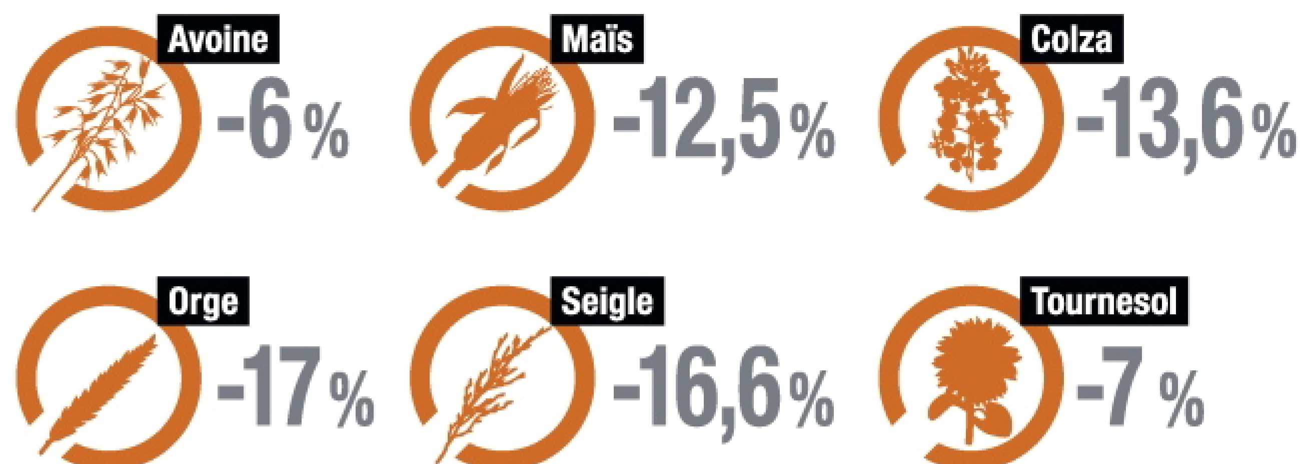
2016

-29 %

Avec 5,57 tonnes par hectare, le rendement national en 2016 est le plus bas depuis 1986. En cause : l'excès de pluie et le manque de luminosité qui ont gêné la floraison et le remplissage des grains.

M.KONTENTE

D'autres cultures voient leur production baisser*



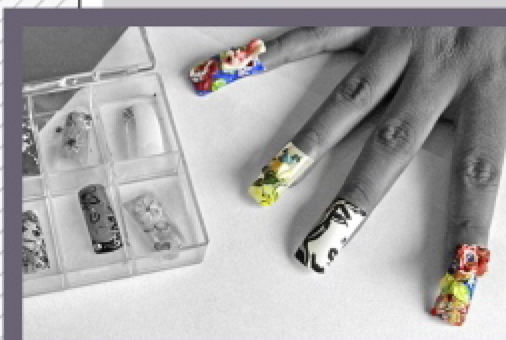
*PRODUCTION EN FRANCE EN 2016 PAR RAPPORT À LA MOYENNE 2011-2015

UNE HEURE DE SPORT COMPENSE 8 HEURES ASSIS

La compilation des résultats de 16 études démontre que, pour compenser entièrement les effets délétères d'une vie sédentaire (huit heures assis par jour), il serait nécessaire de pratiquer… au moins une heure de sport quotidienne. "The Lancet", juil. 2016

TOUTES LES E-CIGARETTES NE SE VALENT PAS

Si les cigarettes électroniques semblent bien représenter un danger beaucoup moins important pour la santé que le tabac, leur vapeur contient toutefois quelques composés toxiques qu'il vaudrait probablement mieux éviter. Or, une équipe internationale de chercheurs a démontré que la quantité de toxiques inhalés lors du vapotage varie en fonction du nombre de résistances servant à chauffer le liquide aromatisé. Ainsi les cigarettes dotées de deux résistances au lieu d'une produisent-elles une fumée plus épaisse. Surtout, grâce à une montée en température moindre, elles dégageraient jusqu'à 10 fois moins de molécules toxiques. "Environ. Sci. Technol.", juil. 2016



LES FAUX ONGLES NUISENT AUX VRAIS

Selon l'Agence nationale de sécurité du médicament, la pose d'ongles artificiels peut favoriser le décollement des ongles naturels et l'apparition d'allergies ou de mycoses. Elle est déconseillée aux moins de 16 ans, aux femmes enceintes et avant une intervention chirurgicale. "ANSM", août 2016.

GARE AU PARACÉTAMOL PENDANT LA GROSSESSE

Une étude britannique révèle que les enfants exposés *in utero* au paracétamol ont un risque plus élevé de développer des troubles du comportement. En particulier, les milliers d'enfants dont les mères déclaraient en avoir pris au moins une fois aux deuxième et/ou troisième trimestres étaient respectivement 18 et 22 % plus nombreux à présenter par la suite des symptômes d'hyperactivité, indépendamment de facteurs tels que l'âge, le poids, etc. de la mère. Plusieurs études avaient déjà suggéré une augmentation des troubles neurodéveloppementaux en cas de prise de paracétamol durant la grossesse, mais d'autres seront encore nécessaires pour confirmer cette hypothèse. "JAMA Ped.", août 2016

LIRE ALLONGERAIT L'ESPÉRANCE DE VIE

Sur 3635 Américains de plus de 50 ans suivis pendant douze ans, les lecteurs avaient un taux de mortalité 20 % plus faible que les autres, indépendamment de leur éducation, de leur statut marital… Lire diminuerait le stress et favoriserait l'adoption de comportements sains. "Soc. Sci. Med.", sep. 2016



HINDUSTAN TIMES VIA GETTY IMAGES-PHOTOPQR/L'ALSACE/MAXPPP



ÉLIMINER 10 FACTEURS DE RISQUE ABOUTIRAIT À 90 % D'AVC EN MOINS

On dénombre chaque année, en France, plus de 130 000 accidents vasculaires cérébraux. Il s'agit de la première cause de handicap acquis de l'adulte, et la troisième cause de mortalité. Or, une nouvelle étude, menée par deux équipes des universités de McMaster (Canada) et Galway (Irlande) sur près de 27 000 participants dans 32 pays, confirme que 90,7 % d'entre eux pourraient être évités si dix facteurs de risque étaient éliminés. Le premier est l'hypertension, impliquée dans 47,9 % des cas d'accident vasculaire cérébral dans le monde. Viennent ensuite le manque d'activité physique (35,8 %), un taux élevé de mauvais cholestérol (26,8 %), une alimentation déséquilibrée (23,2 %), un fort tour de taille (18,6 %), le stress (17,4 %), le tabac (12,4 %), l'alcool (5,8 %) et le diabète (3,9 %). Se prémunir de ces facteurs diviserait donc par dix le risque de faire un accident vasculaire cérébral. "The Lancet", juillet 2016

LES CHAUSSURES ORTHOPÉDIQUES NE SOULAGENT PAS TOUJOURS

En cas d'arthrose du genou, le port de chaussures orthopédiques ne diminue pas les douleurs et n'améliore pas la mobilité de l'articulation. Une étude australienne l'a démontré sur 160 patients suivis pendant six mois. "Ann. Intern. Med.", juillet 2016

SI ON TIENT SON CAFÉ PAR LE HAUT, ON LE RENVERSE MOINS

Peur de vous tacher en marchant avec votre tasse de café ? Tenez-la par le haut ! Une étude coréenne révèle que le poignet joue alors un rôle de pendule naturel : les résonances sont minimisées et les clapotements amortis. Sinon, marcher à reculons serait aussi efficace… "Achiev. Life Sci.", juil. 2016

LA CARESSE D'UN PROCHE DIMINUE VRAIMENT LA DOULEUR EN CAS DE BRÛLURE

Une étude israélienne menée sur 43 couples démontre que la douleur est atténuée de l'ordre de 20 % lorsque c'est le conjoint qui tient la main de la personne qui a subi une brûlure légère, alors qu'elle persiste si c'est une personne étrangère qui le fait. "Journal of Pain", juin 2016

LE "FAIT MAISON" N'EST PAS FORCÉMENT MEILLEUR POUR BÉBÉ

Selon une étude britannique, les repas pour bébés préparés à la maison n'ont pas que des avantages par rapport aux préparations commerciales. En analysant les recettes de 55 livres de cuisine et le contenu de 278 petits pots, les chercheurs révèlent que les recettes "maison" contiennent en moyenne une moins grande variété de légumes par plat, une plus grande quantité de gras, et excèdent même, pour la moitié d'entre eux, le maximum d'apport calorique recommandé. Ils ont cependant d'autres avantages, tels qu'un apport supérieur en nutriments, poissons et fruits de mer. "Arch. Dis. Child", juillet 2016



CHASSENET/BSIP-SHUTTERSTOCK/LOPOLO

L'enceinte dont le son est d'or

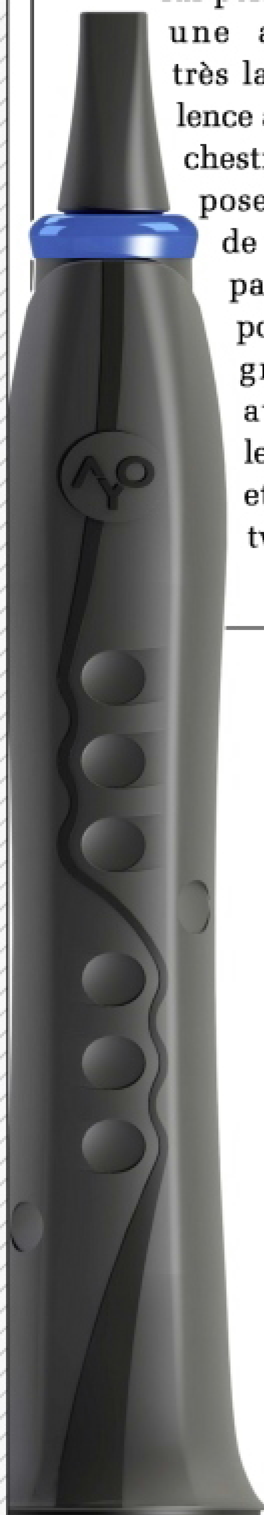


Il fallait que le plus beau son soit paré d'or. Voici la dernière version de l'enceinte Phantom du constructeur français Devialet. Baptisée Gold, elle a été conçue sur le modèle d'une sphère pulsante et fait réellement vibrer l'air comme un instrument. Cette configuration lui permet d'avoir une amplitude très large : du silence au son d'orchestre. Elle dispose pour cela de trois haut-parleurs : un pour les sons graves, un autre pour les médiums, et enfin un tweeter pour les aigus. Ce dernier est le plus important, car c'est lui qui reproduit la plus large fréquence. D'où la grande nouveauté de la Phantom Gold : un tweeter en titane. Ce composant permet d'aller plus loin dans la restitution des aigus sans distorsion et sans saturation. *Science & Vie* l'a testé : même en augmentant le volume à plus de 100 dB, le son n'est pas déformé. Quant au système d'amplification, il atteint désormais 4500 W ! Compatible avec tous les ports et le Bluetooth, la Phantom Gold et ses 22 carats reste malheureusement difficilement compatible avec tous les budgets… **O.S.**

Prix : env. 2600 €
Rens. : https://store.devialet.com/

> Parée d'or, la Phantom Gold garantit un son sans distorsion et sans saturation, même aux plus hauts volumes.

Une flûte pour jouer du hautbois, du violon, du piano…



Ceci n'est pas une flûte comme les autres – bien qu'elle reproduise exactement les sensations d'un instrument à vent classique. Il s'agit en fait d'un contrôleur "Midi" sans fil : grâce à ses touches tactiles et à son capteur de pression à l'intérieur de la colonne d'air, la flûte enregistre le doigté et le souffle du musicien au format numérique Midi, lequel permet ensuite de créer le son sur n'importe quel ordinateur ou synthétiseur relié au boîtier associé à la flûte. Tous les instruments sont possibles, les touches étant personnalisables. Des capteurs de mouvements et un pavé tactile sous le pouce droit permettent même d'ajouter des effets sonores. Des améliorations, comme l'ajout d'une carte son, sont à venir. O.L.

Prix : env. 800 €. Rens. : www.aodyo.com

< Ce contrôleur Midi sans fil enregistre le doigté et le souffle du musicien en format numérique ; le son généré ensuite sur ordinateur peut être celui de n'importe quel instrument.



LE COIN DES PROTOTYPES

La Rolls-Royce du futur sera sur mesure

Avec son *concept-car* 103EX, la mythique marque Rolls-Royce a dévoilé sa vision du futur de la voiture de luxe. Elle sera unique : sa forme, sa taille, son allure seront façonnées en fonction des envies du client, probablement en recourant à l'impression 3D. Elle sera aussi autonome. L'assistance virtuelle se chargera de piloter, calculer les itinéraires, rappeler les rendez-vous et répondre aux besoins de ses passagers. Avec la disparition du volant et du siège conducteur, l'intérieur deviendra une cabine spacieuse avec canapé en soie. Au départ comme à l'arrivée, le toit s'ouvrira sur le côté, comme un piano à queue, de manière à ce que les passagers montent et descendent debout. Quant au type de propulsion, Rolls-Royce ne précise pas encore sa nature, mais elle se fera sans émission de gaz. **O.L.**

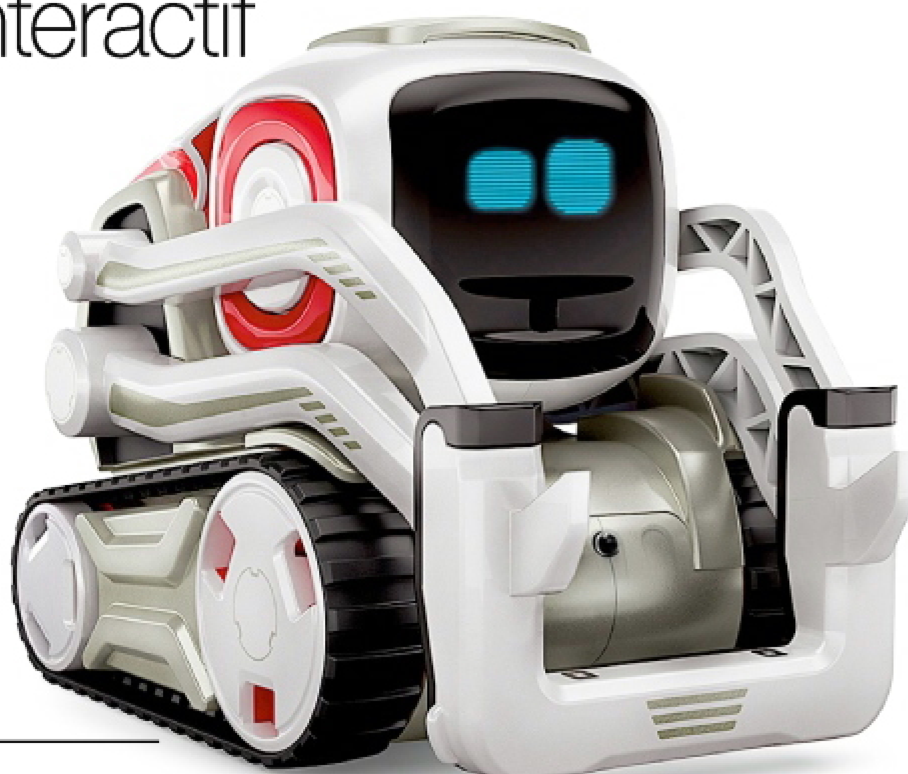
Rens. : www.rolls-royce103ex.com


DR

Un robot vraiment interactif

Conçu par la start-up américaine Anki après plusieurs années de recherche, Cozmo est capable de vous reconnaître, d'échanger et de jouer avec vous grâce à une caméra et un logiciel analysant la morphologie de votre visage. Avec lui, chaque interaction est différente, contrairement aux réponses préprogrammées et répétitives des autres robots. Son "visage" peut exprimer une centaine d'émotions grâce à ses yeux, fabriqués à partir de LED bleues. Ce petit robot aux faux airs de Wall-E, qui tient dans la main, sait aussi monter, renverser des cubes, attraper un stylo… et propose une dizaine de jeux. Commercialisation prévue ce mois-ci aux Etats-Unis. **E.T.-A.**

Prix : env. 160 €
Rens. : https://anki.com/en-us/cozmo



Ce miroir connecté affiche bien plus que votre reflet



Conçu par le français Miliboo, le miroir Ekko retient d'abord l'attention, au premier coup d'œil, grâce à son design épuré et sa tablette en chêne massif. Là n'est pourtant pas le plus étonnant. En s'approchant, on découvre, sur sa partie inférieure, un mini-écran: une interface, qui permet de regarder et d'écouter des informations directement depuis l'objet (météo, actualités, playlist, tutoriels, chronomètre pour le brossage des dents…). Quatre capteurs infrarouges situés sur le miroir servent à faire défiler les différentes options ou à les sélectionner sans toucher le verre – pas de trace de doigt! Et pour un accès encore plus personnalisé, il suffit de créer un profil lors de la première utilisation. A chaque passage devant le miroir, il n'y aura plus qu'à le sélectionner pour que ses rubriques favorites s'affichent. Dommage que la reconnaissance faciale automatique ne soit pas encore prise en compte… Ekko existe sous forme arrondie (60 cm de diamètre) à accrocher ou rectangulaire (55x45 cm) à poser. **M.V.**

Prix : env. 400 €
Rens. : www.miliboo.com

La super douche qui soulage la facture d'eau

Economiser jusqu'à 70 % d'eau sans passer moins de temps sous la douche, c'est possible! Plutôt que de pulvériser l'eau en grosses gouttes, le pommeau de douche Nebia Shower la fragmente en minuscules gouttelettes, diffusées par millions. Ce qui permet de toucher une surface de peau dix fois plus grande qu'un pommeau classique, tout en n'utilisant que 2,8 l d'eau à la minute, contre 9,5 l pour une douche classique. S.D.

Prix : env. 340 €. Rens. : https://nebia.com

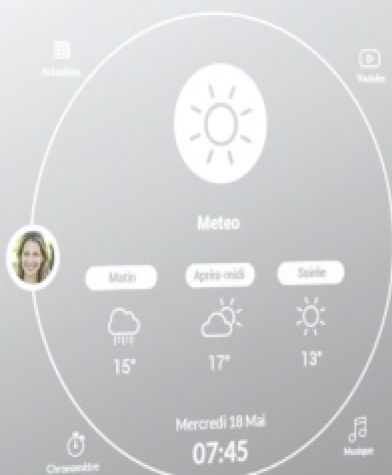
La première "combi" sans Néoprène



La marque californienne Patagonia a décidé de se passer de cette matière issue du pétrole pour créer une combinaison de surf plus respectueuse de l'environnement. Celle-ci est composée à 85 % de caoutchouc naturel (issu de plantes gérées durablement), et à 15 % de caoutchouc synthétique pour la solidité. Au final, cette combinaison offre une conservation de la chaleur et une durée de vie équivalentes à celles fabriquées à base de Néoprène. L.B.

Prix : de 175 à 600 € (selon modèle)
Rens. : www.patagonia.com

DR



Le verre d'Ekko permet de s'y mirer, mais aussi d'afficher plein d'informations, comme la météo, une horloge, les actus…

La gourde idéale pour les sportifs



Au lieu d'emporter deux gourdes (une pour l'eau et une pour la boisson énergétique), les cyclistes et randonneurs pourront désormais s'équiper du bidon Double Use System, conçu par la marque française Aptonia. D'une capacité de 55 ml, il possède un embout astucieux qui permet, en changeant simplement la position du cran, d'alterner eau pure ou sirop énergétique mélangé à l'eau à différentes concentrations. **L.B.**

Prix : env. 7 € (+ lot de 6 dosettes à env. 5 €)
Rens. : www.aptonia.fr

Elles permettent de voir… mais aussi de photographier et filmer

Conçue par la start-up lyonnaise Tikaway, cette paire de lunettes permet de filmer une scène et de la diffuser en direct sur internet. L'intérêt est évident : profiter pleinement d'un moment lorsqu'on le capture, tout en gardant les mains libres. Une pression plus ou moins longue sur un bouton situé sur la monture suffit pour prendre une photo (jusqu'à 5 Mpx) ou lancer une vidéo (1080p, 30 images/seconde). Le dispositif se connecte en wi-fi ou Bluetooth au smartphone et permet de diffuser la séquence sur les réseaux sociaux *via* une application, ou de la stocker dans sa mémoire de 16 Go. Les Tikaway sont des lunettes (presque) comme les autres : ses verres transparents peuvent être remplacés par des verres solaires (fournis à l'achat) ou correcteurs. **G.S.**

Prix : env. 300 €
Rens. : www.tikaway.com

Une caméra 1 080p enregistre la scène et peut même la diffuser en direct sur le web.



Quel profit tire un arbre de perdre ses feuilles?

Question de Lucas Backes, Sprimont (Belgique)

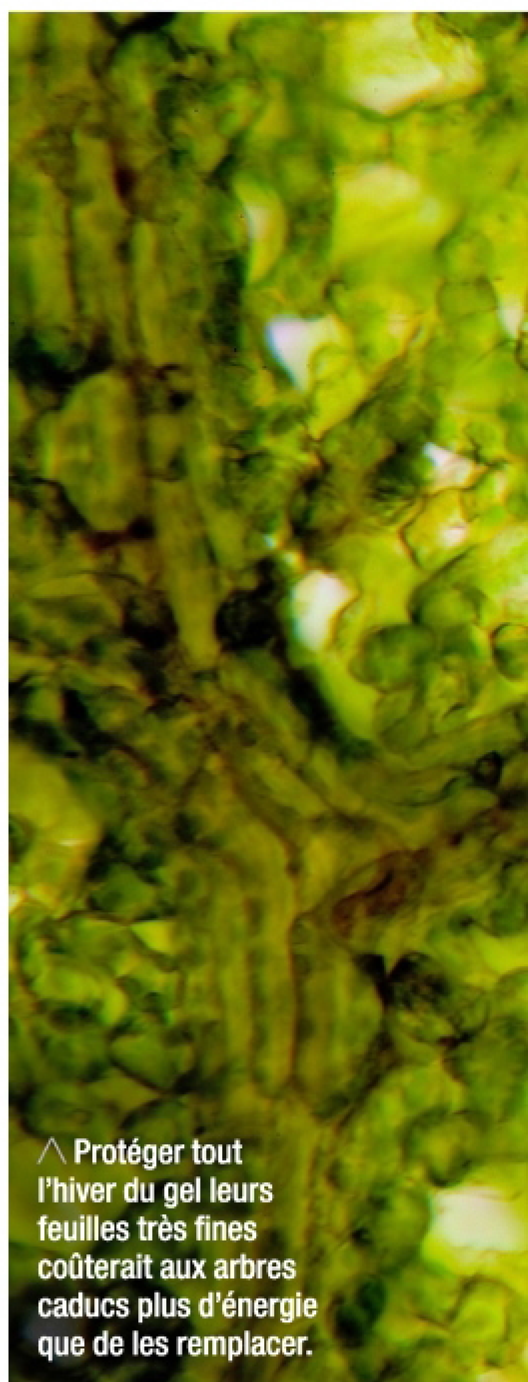
A cette question, qui ne concerne que les arbres caducs, la réponse est toute simple: c'est une question d'économie d'énergie. Il est moins coûteux pour eux de se débarrasser de leurs feuilles en automne, et d'en fabriquer de nouvelles au printemps, que de les conserver tout l'hiver. *"Comparées aux épaisses feuilles des arbres persistants, comme les conifères qui les conservent plusieurs années, celles plus fines des arbres caducs nécessitent, pour leur fabrication, deux fois moins de molécules énergétiques,* explique Hervé Cochard, spécialiste en physiologie des arbres à l'Inra (Clermont-Ferrand). *En revanche, maintenir en hiver ces feuilles peu résistantes au froid exigerait des mécanismes de protection contre le gel très énergivores… Au final, il est donc moins dommageable de se séparer d'elles l'hiver et d'en refaire de nouvelles au printemps."*

UNE BONNE PHOTOSYNTHÈSE

D'autant qu'à l'automne, *"avec la diminution de la luminosité, la photosynthèse devient moins efficace; ces feuilles fabriquent donc moins de molécules énergétiques"*, insiste le chercheur. Sans compter que les anciennes se retrouveraient à l'ombre des plus récentes, ce qui appauvrirait d'autant leurs capacités de photosynthèse… et que les mousses et les insectes les recouvriraient peu à peu.

Ce n'est pas tout. Selon Hervé Cochard, la chute des feuilles caduques permet aussi "d'amortir" leur coût de fabrication: *"Dégradés par les micro-organismes du sol, leurs constituants sont ensuite de nouveau captés par l'arbre."*

Enfin, ultime avantage: perdre ses feuilles réduit la prise au vent l'hiver. Les arbres qui ont été renversés par la tempête hivernale de 1999 étaient surtout des conifères. **K.B.**



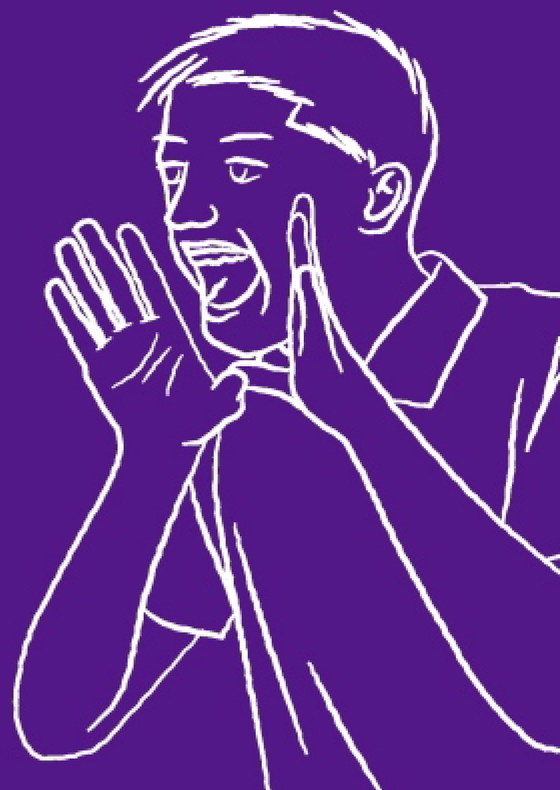
Protéger tout l'hiver du gel leurs feuilles très fines coûterait aux arbres caducs plus d'énergie que de les remplacer.

L'homme est-il capable d'émettre des ultrasons avec ses cordes vocales?

Question de Lucas Foures, Woimbey (55)

Non: contrairement aux chauves-souris, aux chiens ou aux chats, *"nos cordes vocales ne peuvent pas émettre d'ultrasons"*, assure Nathalie Henrich Bernardoni, spécialiste de la voix humaine.

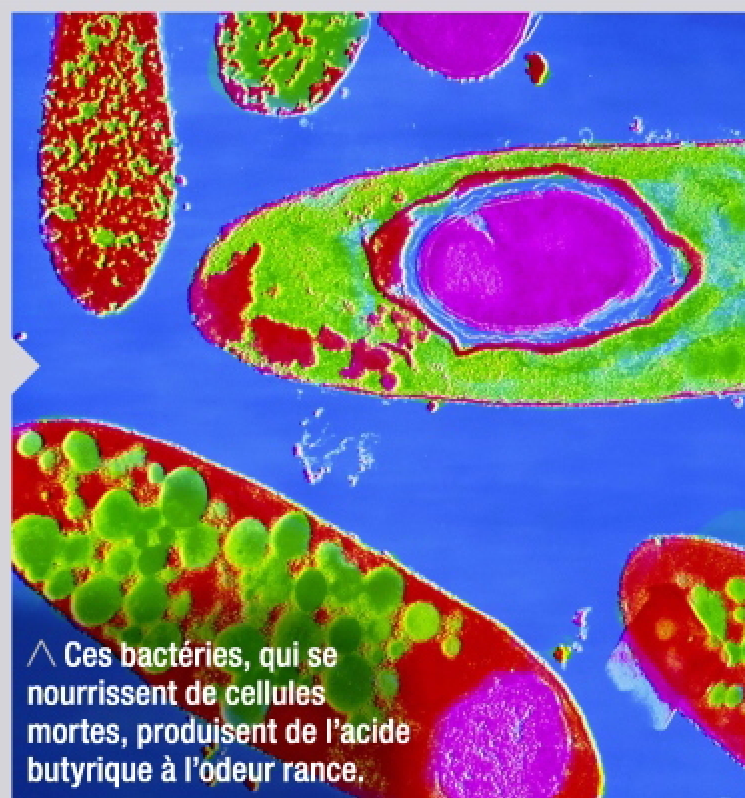
Rappelons que les sons sont des vibrations mécaniques de l'air caractérisées par leur fréquence, à savoir le nombre de vibrations de l'onde par seconde (exprimé en hertz). Et que ce sont les vibrations de nos cordes vocales qui produisent le son de notre voix – plus elles vibrent vite, plus la voix est aiguë. Alors que les ultrasons ont une fréquence supérieure à 20000 Hz, *"nos cordes vocales,* explique Fabrice Silva, spécialiste de la production de la voix, *vibrent, en conditions normales, à une fréquence de 250 Hz chez l'enfant, 200 Hz chez la femme et 100 Hz chez l'homme. Elles s'amplifient quand on chante et certaines sopranos peuvent atteindre 1400 Hz! Mais même en tenant compte des harmoniques de la voix, le spectre des sons produits par nos cordes vocales ne s'étend pas au-delà de 5000 Hz"…* **K.B.**



Pourquoi le linge sale sent-il mauvais ?

Question de A. Goumy, Saint-Dié (88)

A cause des composés organiques volatils libérés par les bactéries qui digèrent les acides aminés contenus dans la sueur et les cellules mortes qui imprègnent nos vêtements. Grâce à la chromatographie, John Dean et son équipe de l'université de Northumbria (Angleterre) ont réussi à déceler six composés organiques volatils malodorants, dont trois particulièrement dérangeants : l'acide butyrique (odeur rance), le diméthyltrisulfure (odeur fétide) et le diméthyldisulfure (odeur d'oignon). Si un lavage à 20 °C permet de réduire leur concentration (jusqu'à 93 % pour les deux premiers et 79 % pour le troisième), *"la méthode la plus radicale reste le fer à repasser, aucune substance volatile ne résistant à sa vapeur à 80 °C"*, assure John Dean. **F.G.**



∧ Ces bactéries, qui se nourrissent de cellules mortes, produisent de l'acide butyrique à l'odeur rance.

DR KEITH WHEELER/SPL/COSMOS - A. DAGAN - CNRI/SPL/COSMOS

Que se passerait-il si Jupiter s'écrasait sur le Soleil ?

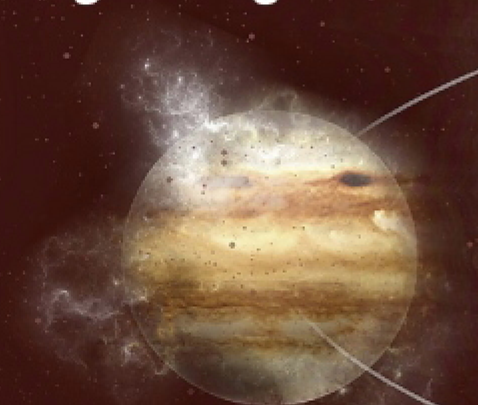
Question de S. Lhery, Combs-la-Ville (77)

Voir Jupiter décrire une spirale autour du Soleil avant de s'y écraser serait assurément spectaculaire ! Ce scénario imaginaire modifierait la structure et l'apparence de la planète géante au fur et à mesure de sa chute.

"La haute atmosphère de Jupiter serait d'abord soufflée à l'approche du Soleil, affirme Alain Lecavelier, astrophysicien et directeur de recherche au CNRS. *Au cours d'échanges énergétiques entre l'étoile et la planète, les photons ultraviolets chaufferaient l'hydrogène, qui s'échapperait dans l'espace."* Un phénomène qu'on observe justement pour HD 189733 b, une exoplanète de type Jupiter chaud, située à plus de 60 années-lumière, qui perd son enveloppe d'hydrogène au rythme de 1000 à 100000 t par seconde ! Résultat : une queue similaire à celles des comètes s'étendrait sur des millions de kilomètres sous l'effet de la pression exercée par les radiations du Soleil. Un dégazage qui irait en s'accélérant au fur et à mesure que la planète s'approcherait de son étoile. Mais Jupiter ne perdrait pas son atmosphère du jour au lendemain : le processus s'étalerait sur des dizaines, voire des centaines de millions d'années !

Suffisamment dense, le noyau, dépouillé de son gaz, ne serait pas détruit avant d'atteindre l'enveloppe du Soleil. *"On peut même imaginer qu'il continue d'orbiter sous sa surface !"*, lance Alain Lecavelier. Et c'est seulement là, à l'intérieur de l'étoile, qu'il s'éroderait définitivement sous l'effet des gaz stellaires. C.P.

La géante gazeuse



1. A 7 rayons solaires, son atmosphère commence à s'échapper

Les chiens sentent-ils quand on a peur ?

Question de Roxane Berthaud, Grandchamps-des-Fontaines (44)

Oui mais pas seulement ! Ils sont capables de reconnaître nombre d'émotions comme le stress ou la tristesse. Le chien a en effet un sens de l'observation beaucoup plus aiguisé que le nôtre. *"Puisqu'il n'a pas le sens du langage, il compense avec sa capacité d'observation,* explique Michel Chanton, éthologiste spécialisé dans l'interaction entre l'homme et le chien. *Il est extrêmement attentif au comportement non-verbal et paraverbal : il peut, par exemple, détecter une dilatation du diamètre de la pupille, ainsi que nos mimiques et gestes les plus discrets, les différentes intonations de notre voix et même le hérissement des poils sur notre peau !"*

Autre élément qui aide le chien à capter notre peur : les substances chimiques relâchées par le corps humain. *"Ces sécrétions sont aisément discernées par le chien qui a un sens olfactif très développé"*, rappelle le comportementaliste canin Eric Bonnefoi.

"Il faut vraiment être un acteur hors pair pour espérer tromper un chien, conclut Michel Chanton. *Si vous recevez un coup de fil désagréable de votre banque, je vous assure que votre animal décèlera votre mauvaise humeur !"* F.C.

A.DAGAN - LAURENT VILLERET/DOLCE VITA

D'où vient

Question de Laetitia Stibler,

"Nous n'avons pas de réponse très précise", répond Didier Lacombe, chef du service de génétique médicale du CHU de Bordeaux. Mais selon toute vraisemblance, cette capacité à retrousser les bords de sa langue vers le haut, en forme de "U", serait le résultat de facteurs innés, même si ce geste pourrait être appris avec un peu d'entraînement.

"Vu que près de 65 % de la population caucasienne sait réaliser ce mouvement,

se viderait de son gaz avant de s'abîmer dans le Soleil

Traînée de gaz

Noyau (5 à 10 masses terrestres)

Vestige jovien

2. A 5 rayons solaires, son dégazage s'accélère, formant une traînée

3. Son noyau tombe dans le Soleil…

4. … où il orbite et finit de s'éroder

que certains savent rouler la langue ?

Neuilly-sur-Seine (92)

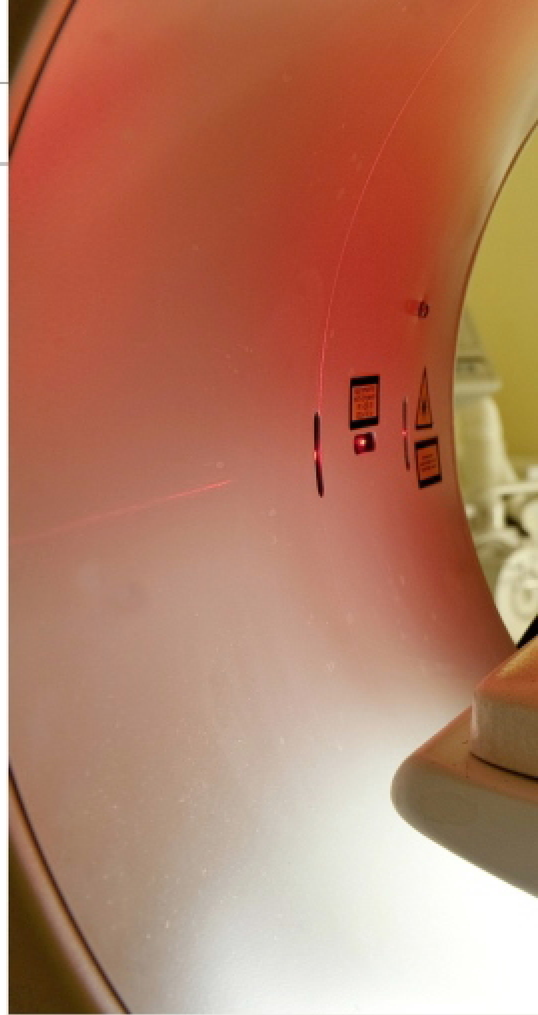
on peut penser qu'il y aurait bien une transmission génétique de cette prédisposition, reprend le spécialiste. *Cela pourrait par exemple concerner les gènes qui définissent la longueur et la laxité de la langue."* Logique : le fait de rouler sa langue dépendrait donc des caractéristiques de celle-ci et de ses muscles… Or, ces caractéristiques dépendent en partie de nos gènes.

Mais la génétique n'explique pas tout. En effet, plus un individu s'entraînera à rouler sa langue en "U", plus il aura de chances d'y parvenir après un certain temps, qu'il possède ou non des prédispositions génétiques favorables.

AVEC UN PEU DE PRATIQUE…

Si, historiquement, les scientifiques ont longtemps pensé que l'explication ne pouvait être que génétique, une étude publiée en 1975 par le généticien australien N. G. Martin a prouvé le contraire. En demandant de rouler leur langue en "U" à de vrais jumeaux, qui possèdent donc des gènes identiques, il s'est aperçu qu'un seul des deux frères en était capable. Ce jumeau aurait en fait développé, consciemment ou non, ses capacités naturelles (muscles et caractéristiques de la langue) en s'entraînant. Il aurait donc, contrairement à son jumeau, su profiter des facteurs génétiques favorables qu'ils partageaient. F.C.





“Sommes-nous trop “bêtes” pour comprendre l’intelligence des animaux ?”

Tout sur le propre de l’animal

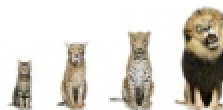
Depuis qu’il a publié son best-seller *La politique du chimpanzé*, au début des années 1980, le primatologue Frans de Waal n’a cessé de poursuivre le même objectif scientifique : *“Abattre le mur étanche artificiellement dressé entre la cognition humaine et celle des animaux”*, dit-il. Un combat qu’il a mené à travers d’innombrables expériences et observations devenues célèbres, mais aussi en publiant une quinzaine de livres à succès. Jusqu’à devenir aujourd’hui, selon le magazine *Time*, l’un des 100 penseurs les plus influents du monde.

LE TEST DU MARSHMALLOW

Au cours de ses trente ans de carrière, le primatologue néerlandais a peu à peu étendu son champ de recherche à d’autres animaux. Il observe d’ailleurs que, *“très souvent, lorsqu’une compétence cognitive est découverte chez les grands singes, comme l’utilisation d’outils, elle est ensuite identifiée chez de nombreuses autres espèces”*. Son dernier livre, *Sommes-nous trop “bêtes” pour comprendre l’intelligence des animaux?*, balaye ainsi l’ensemble du règne animal, décrivant d’extraordinaires expériences sur les primates certes, mais aussi sur des chiens, des chats, des loups, des souris, des éléphants, des cétacés, des oiseaux, des pieuvres…

Parmi ces centaines d’expériences passionnantes qui révèlent la continuité entre l’homme et l’animal, citons l’adaptation aux animaux du fameux “test du marshmallow”, au cours duquel un enfant est récompensé s’il arrive à retenir son envie de dévorer immédiatement la friandise. De la même façon, le chercheur tend une récompense que l’animal peut prendre immédiatement. Mais après une minute, la récompense est doublée, puis triplée… Beaucoup d’animaux comprennent vite qu’il faut résister le plus longtemps possible pour maximiser la récompense. Ils développent alors (avec un succès inégal) des stratégies pour “penser à autre chose” : jouer avec des objets, s’allonger en tournant le dos à la récompense, arpenter la pièce… Les gagnants à ce test ont été les chimpanzés, à égalité avec les petits humains, avec un record de résistance de 18 min. Les corneilles ont, elles, atteint 10 min, quand les singes capucins ne tiennent pas plus de 15 s !

FRANS DE WAAL



SOMMES-NOUS TROP «BÊTES» POUR COMPRENDRE L’INTELLIGENCE DES ANIMAUX ?

« UNE LECTURE QUI S’IMPOSE… » Matthieu Ricard

LLL LES LIENS QUI LIBÈRENT

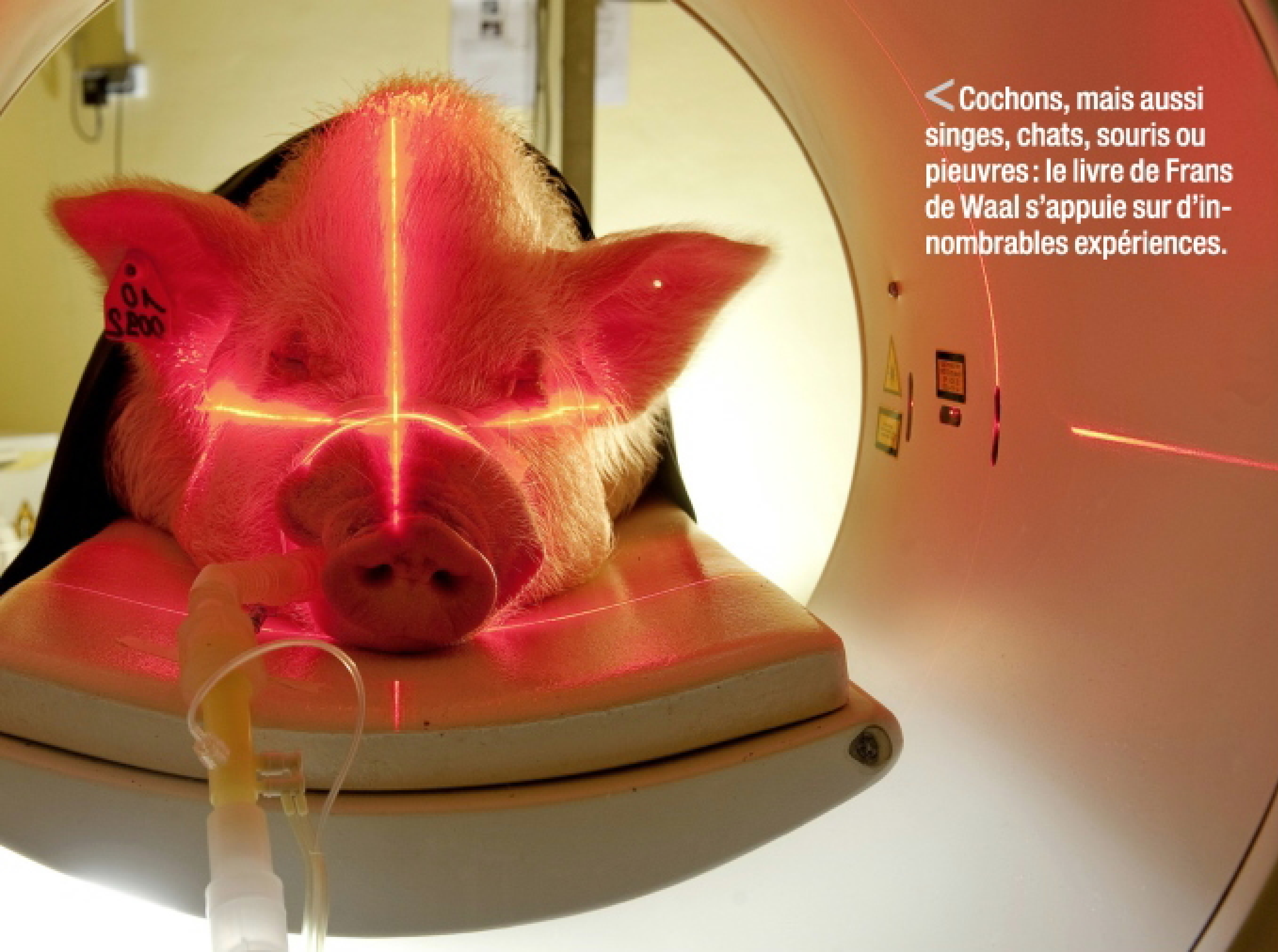
- ***Sommes-nous trop “bêtes” pour comprendre l’intelligence des animaux***
- Frans de Waal
- Editions Les liens qui libèrent
- 416 pages, 24 €
- Parution le 5 octobre

Dans cette ample fresque de la recherche en cognition animale, riche en anecdotes et en analyses éclairantes, de Waal explique aussi, entre mille autres choses, toute la difficulté à mettre en évidence une compétence cognitive chez un animal, faute de bien maîtriser son univers perceptif. Les scientifiques ont ainsi testé en vain la capacité des pieuvres à ouvrir un bocal au couvercle vissé dans lequel se trouvait un crabe, jusqu’à ce qu’ils réalisent que la pieuvre chasse à l’odorat et non à la vue ! Ils ont alors frotté le bocal avec du poisson… Succès immédiat. Un livre passionnant. **Y.S.**



S&V : Votre livre est en partie centré sur le concept d’“anthropodéni”, que vous avez forgé. Qu’entendez-vous par là ?

F.D.W. : L’“anthropodéni”, c’est le refus de voir le lien entre les comportements humains et animaux même lorsqu’ils sont à l’évidence analogues. Si, après une dispute, deux singes s’embrassent et s’étreignent, je dis qu’ils se réconcilient. Appeler cela des “contacts post-conflit”, c’est de l’anthropodéni, tout comme refuser de qualifier de “rire” les petits bruits que font les singes quand on les



Cochons, mais aussi singes, chats, souris ou pieuvres : le livre de Frans de Waal s'appuie sur d'innombrables expériences.

FRANS **DE WAAL**
Psychologue et primatologue

Pour la majorité des biologistes, la continuité cognitive homme-animal n'est plus discutée

chatouille sous les bras ! J'ai forgé ce terme pour prendre le contre-pied du mot "anthropomorphisme", qui désigne l'inverse, à savoir l'attribution injustifiée de processus mentaux humains aux animaux. Les deux sont également ascientifiques mais, en particulier lorsqu'il s'agit d'animaux proches de nous dans l'évolution comme les singes, je pense que le risque d'anthropodéni est plus grand.

S&V : La science n'a-t-elle pas beaucoup fait reculer cet anthropodéni ces dernières décennies, en particulier sous votre influence ?

F.D.W. : C'est certain. Au début de ma carrière, on n'osait pas parler d'émotions et encore moins de cognition s'agissant d'animaux. Il fallait parler de stimulus et de réponse au stimulus ! Désormais, pour la majorité des biologistes, la continuité homme-animal n'est plus discutée ; d'ailleurs, un neurologue sait très bien qu'un cerveau de rat fonctionne en gros comme un cerveau humain, avec les mêmes aires gérant les mêmes fonctions. Par contre, dans les sciences humaines et sociales, la psychologie, l'anthropologie… je pense que l'anthropodéni est encore majoritaire.

S&V : Vous dites placer beaucoup d'espoir dans la neurologie, mais vous parlez peu des progrès de la génétique – pourquoi ?

F.D.W. : La génétique de la cognition m'intéresse mais c'est un domaine où nous en savons encore trop peu. Il est évident que les comportements et les capacités cognitives des animaux ont une base génétique et ont été forgés par l'évolution. Mais cette part héritable est très difficile à étudier, ne serait-ce que parce que les animaux les plus intéressants au plan de la cognition ont des cycles de reproduction lents – ce ne sont pas des bactéries ou des mouches drosophiles. Mais il commence à y avoir des études sur les rongeurs – on y viendra petit à petit.

Propos recueillis par Yves Sciama

FLORIS LEEUWENBERG - JEAN CLAUDE MOSCHETTI/REA

A voir, à lire

EXPOSITION



- ***Magimatique***
- Maison des mathématiques et de l'informatique (Lyon)
- Jusqu'au 28 juin 2017
- http://mmi-lyon.fr
- Entrée libre

L'exposition "Magimatique" est née de l'imagination d'un champion de la magie, Yves Doumergue, et d'un statisticien de l'Insa de Lyon, Jean-Baptiste Aubin. Ils l'ont voulue comme une *"symbiose entre la magie et les maths, entre le côté fun et le côté sérieux"*. Le voyage commence par un spectacle où les chiffres sont à l'honneur. Puis il continue avec une présentation d'illusions auditives et optiques, d'objets insolites et de sculptures défiant les lois physiques et mathématiques. A chaque étape, le public est invité à découvrir les trucs et astuces de chaque tour. **B.P.-R.**

LIVRE



- ***Maquettes antiques d'Orient***
- Par Béatrice Muller
- Ed. Picard, 296 pages, 254 illustrations, 49 €
- Parution septembre 2016

De la Perse antique à l'Egypte pharaonique, des artisans ont recréé jadis en modèles réduits ce qui les entourait. Temples et maisons, ateliers, greniers, jardins ont ainsi été reproduits en terre, en bois, en ivoire… Certes, de façon parfois peu fidèle, mais toujours réaliste et touchante. L'ouvrage de Béatrice Muller, enseignante-chercheuse au CNRS, présente ces milliers de maquettes, étonnants témoins de leur époque, et raconte leurs usages et leurs rôles. Une façon inédite de découvrir la vie et certains mystères des prestigieuses sociétés anciennes qui les ont modelées. **E.R.**

Octobre 1916

Le Transsibérien relie l'Europe à l'Extrême-Orient

Alors qu'en ce mois d'octobre 1916 les "poilus" tombent à Verdun, une autre hécatombe s'achève dans les forêts sibériennes. A plus de 10000 km de nos frontières, le long du fleuve Amour, ligne de démarcation entre la Chine et la Sainte Russie, bagnards et soldats russes, épaulés par des coolies chinois, terminent dans la douleur le dernier tronçon d'un chantier titanesque qui aura duré vingt-cinq ans! Saint-Pétersbourg est désormais relié à Vladivostok, au bord du Pacifique, par un chemin de fer qui traverse toute la Sibérie. Plus de 9000 km de voies ininterrompues, sur sept fuseaux horaires… La plus longue ligne de chemin de fer jamais construite. La plus meurtrière aussi, jalonnée de milliers de cadavres d'ouvriers, victimes du froid et des moustiques, pour que la Sibérie devienne autre chose qu'une immense forêt vierge.

100000 OUVRIERS!

A la fin du XIXe siècle, une voie terrestre sillonne déjà la Sibérie: le trakt, un chemin gelé huit mois par an, mal entretenu par des bagnards et des esclaves. L'écrivain Tchekhov, qui le parcourt en diligence en 1890, en décrit l'inconfort. Le voyage jusqu'aux rives du Pacifique dure des mois. Un casse-tête économique – la Sibérie regorge de ressources naturelles – et stratégique face aux armées chinoise et japonaise.

La conquête du Far West américain s'étant faite grâce au train, l'idée de suivre le même modèle germe alors. D'autant que depuis 1861, la Russie européenne, située à l'ouest de l'Oural, se couvre de voies ferrées. Surtout, la guerre franco-prussienne de 1870 a démontré l'efficacité du train dans l'acheminement des troupes.

Relier les villes sibériennes au-delà d'Ekaterinbourg, terminus du chemin de fer de l'Oural, représente pourtant un défi démesuré. Le coût pour atteindre le Pacifique dépasse de loin les capacités de financement du tsar, aussi puissant soit-il.

Un industriel belge insiste: Georges Nagelmackers. Il veut créer une ligne pour riches voyageurs, à l'image des luxueux wagons-lits qu'il teste entre Paris et Vienne. Les militaires, eux, s'inquiètent du Japon et de la Chine, qui masse des troupes le long de l'Amour.

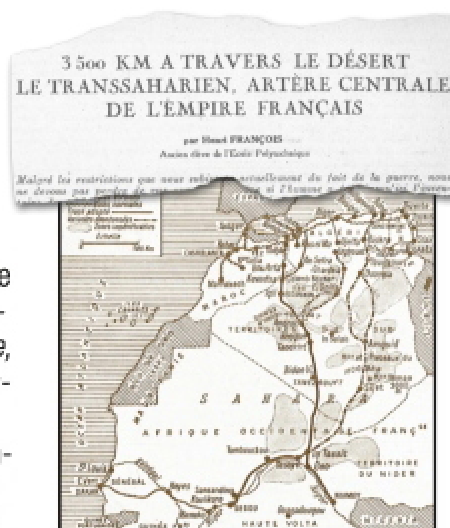
En 1888, le Comité des ministres donne enfin son feu vert. Et deux ans plus tard, le tsar signe l'ukase qui autorise le chantier à démarrer. La première pierre est posée le 29 mars 1891. Mais aucun pays n'a encore géré de chantier aussi étendu. Les ingénieurs calculent que pour mener à bien, sans machine, ce projet colossal, il faudrait 100000 ouvriers travaillant sept mois par an (en espérant des hivers doux) pendant dix ans! Où les trouver? En partie dans les bagnes sibériens. Ils ne coûteront rien… Car dès le départ, il est clair que le plus gros obstacle sera financier.

Pour réduire les coûts, on prévoit une seule voie – elle sera 9 cm plus large

SCIENCE&VIE en parlait déjà… PAR FIORENZA GRACCI

1942 TRAVERSER L'AFRIQUE?

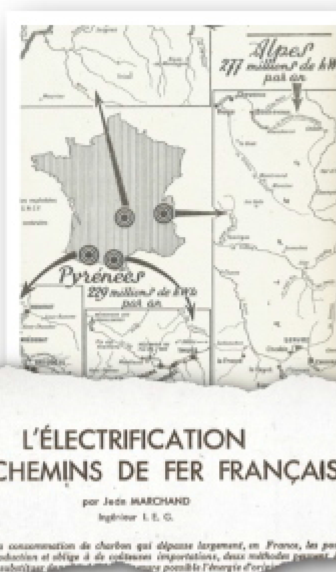
Un tracé de chemin de fer censé relier la côte algérienne au Niger? Le Transsaharien doit *"compléter l'œuvre colonisatrice entreprise par la France en Afrique occidentale"*. D'un coût exorbitant de 5 milliards de francs, il serait *"l'amorce d'un Transafricain qui relierait Le Cap à l'Europe, en donnant aux voies de communication africaines la cohérence qui leur manque"*. Un chantier épuisant abandonné après la guerre au bout d'une centaine de kilomètres. ***S&V* n° 292**


3500 KM A TRAVERS LE DÉSERT
LE TRANSSAHARIEN, ARTÈRE CENTRALE DE L'EMPIRE FRANÇAIS

par Henri FRANÇOIS
Ancien élève de l'École Polytechnique

1946 UNE MUTATION INDUSTRIELLE

Après la guerre, l'heure est aux économies. *"L'électrification de plus de 2000 km de voies ferrées […] doit permettre une économie de un million et demi de tonnes de charbon par an."* Au terme d'un *"vaste programme décennal"*, on aura supprimé *"ces centrales thermiques à très faible rendement que sont les locomotives à vapeur"* en faveur de l'hydro-électrique. ***S&V* n° 347**



L'ÉLECTRIFICATION
DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS

par Jean MARCHAND
Ingénieur I. E. G.

ARCHIVE PHOTOS / ADOC-PHOTOS

que le standard européen de 1,43 m – et on rogne sur la qualité des rails et la hauteur du ballast. Les conditions de travail et d'hygiène sont épouvantables. Les moustiques infestent les marais; typhus et choléra tuent des milliers d'ouvriers. Le froid et les insectes en aveuglent des milliers d'autres. Mais le chantier avance: dès 1896, le tronçon qui relie Tcheliabinsk au fleuve Ob entre en service, avec des voitures anglaises et des locomotives à vapeur fabriquées aux Etats-Unis. →



Avec 9 000 km de voies ininterrompues sur 7 fuseaux horaires, le Transsibérien est la plus longue ligne de chemin de fer jamais construite. Son chantier aura duré 25 ans et coûté la vie à des milliers de bagnards et d'ouvriers.

1994 **QUAND LE TRAIN RIVALISE AVEC L'AVION**

Depuis la mise en service du TGV le 27 septembre 1981, *"cinq pays du Vieux Continent ont d'ores et déjà choisi la technologie ferroviaire française.* […] *Sur des trajets inférieurs à 1 000 km, il devient ultra-compétitif face à l'avion* [et] *pénètre au cœur des villes.* […] *Un schéma européen à grande vitesse* [reliera] *d'ici à 2020* […] *tous les grands centres urbains* […]*".* Si toutes ces lignes n'ont pas abouti, elles s'étendent en Europe et en Asie sur des milliers de kilomètres. ***S&V* n° 924** @


TECHNOLOGIE

Précurseur en Europe des trains de l'avenir, et devenu en quelques années une référence internationale, le TGV français a une belle longueur d'avance dans la course du rail européen. Mais les Allem… et les Italiens… renoncé…

Pourquoi le TGV a conquis l'Europe



Les vraies difficultés commencent dans les collines et les marécages de Sibérie centrale. L'approvisionnement en bois pose problème dans la plus grande forêt du monde car les grandes familles propriétaires négocient âprement.

Le tsar demande l'aide de la France, sous la forme d'un emprunt dont la Banque de France se porte garante. Les usines Eiffel fournissent pièces métalliques et poutrelles. En contrepartie, la Russie s'engage à ne pas s'allier avec l'Allemagne.

Août 1898 : les premiers voyageurs arrivent à Irkoutsk, près du lac Baïkal. Mais comment contourner, au milieu des montagnes, l'un des plus grands lacs du monde ? En embarquant le train dans un ferry-boat, comme sur le lac Michigan, aux Etats-Unis ! Deux ferries brise-glace sont assemblés dans une vaste cité ouvrière : le SS Baïkal, un monstre de 88 m de longueur et 17 m de largeur, capable d'embarquer 25 wagons et une locomotive, et l'Angara, plus petit. En 1900, le tronçon Irkoutsk-Baïkal est ouvert. Alors qu'à Paris, on se bouscule à l'Exposition universelle pour admirer le luxueux wagon conçu par Nagelmackers. La Sibérie commence à faire rêver…


Le Transsibérien n'est pas qu'une luxueuse ligne de wagons-lits, il fut surtout la colonne vertébrale du développement de la Russie.

Reste à finir le tronçon oriental qu'attend l'armée. Pour atteindre Vladivostok, la Russie obtient de la Chine de couper à travers la Mandchourie. La jonction est établie en 1903. Mais le Japon, inquiet de voir les Russes contrôler cette zone, envahit la Sibérie orientale dès 1904. Chargé d'acheminer les troupes, le Transsibérien révèle alors ses faiblesses : déraillements, ponts effondrés, rails tordus par le gel. Et l'absence de seconde voie complique la logistique. Le Japon remporte la guerre et obtient en 1905 le droit d'exploiter le Transsibérien sur sa partie mongole.

Les Russes rectifient le tracé pour qu'il reste sur leur territoire. Mais le dernier tronçon sera le plus dur. Le climat est si humide que les pièces métalliques arrivent rouillées sur un chantier qui s'éternise. Les militaires retroussent leurs manches pour accélérer les travaux. Qui ne s'achèveront qu'en 1916, dans l'indifférence d'une Europe en guerre.

A cette date, le Transsibérien s'est pourtant déjà imposé comme la colonne vertébrale du développement russe. Les colons s'installent par millions le long de sa voie ; la Sibérie exporte œufs et beurre dans toute l'Europe ; la production de fer et de cuivre de la région du lac Baïkal a été multipliée par dix entre 1896 et 1901. Sa voie est doublée en 1930 et il permettra à Staline, pendant la Seconde Guerre mondiale, d'utiliser la Sibérie comme une gigantesque zone industrielle protégée des bombardements. Plus au nord, est ensuite lancé en 1974 le chantier de la BAM (Baïkal-Amour Magistrale), achevée en 1991.

Et aujourd'hui, cent ans plus tard, le Transsibérien reste l'artère vitale de l'immensité sibérienne. **E. Monnier**

SSPL/PLANET NEWS ARCHIVE/GETTY

SCIENCE&VIE en parlait encore

2015 NOUVEAU DÉFI : UN TUNNEL DE 57 KM !



"C'est le plus long et le plus profond tunnel jamais percé. Les deux tubes parallèles de 8 m de circonférence transpercent le massif suisse du Saint-Gothard sur 57 km", réduisant le parcours de 30 km. Il permet de transporter plus de deux fois plus de marchandises *"plus vite, à plus grande fréquence et pour deux fois moins d'énergie"*. De quoi limiter le trafic sur route et préserver les Alpes suisses… *"pour un coût de 9 milliards d'euros"*. ***S&V* n° 1185** @

2016 ENCORE PLUS VITE ?



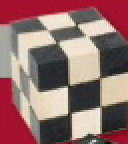
Le nouveau projet d'Elon Musk *"ambitionne d'embarquer des passagers à 1 200 km/h au sein de petites capsules qui circulent dans un tube quasi sous vide, à 30 secondes d'intervalle…"* De quoi *"relier Los Angeles à San Francisco en 35 minutes, ou atteindre Marseille depuis Paris en moins de 40 minutes"* ! Aussi incroyable qu'il puisse paraître, *"plusieurs indices laissent penser"* qu'il pourrait bel et bien se réaliser. ***S&V* n° 1187** @


à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

Enquête

Vous faites partie de nos lecteurs et nous vous remercions de votre fidélité. Nous travaillons dans un souci permanent d'amélioration de *Science & Vie*. C'est pourquoi nous vous remercions de consacrer quelques minutes, après la lecture de ce numéro, pour remplir le questionnaire ci-dessous. Votre aide nous est précieuse, elle nous permettra de répondre encore mieux à vos attentes.





ou



Pour vous remercier un tirage au sort sera organisé, vous aurez ainsi la possibilité de recevoir :

- **La Réédition du 1er *Science & Vie* AVRIL 1913**
- **ou un duo de casse-tête SUDOKU + DAMIER**

Une fois rempli et complété, ce questionnaire est à nous retourner au plus vite, sans l'affranchir, à l'adresse suivante :
Science & Vie – Marketing – Libre réponse 23016 – 92125 MONTROUGE CEDEX

Q1. Vous lisez Science & Vie…

> *Tous les mois.* 1
> *De 6 à 10 numéros par an* 2
> *De 3 à 5 numéros par an* 3
> *Moins de 3 numéros par an* 4
> *C'est la première fois.* 5

Q2. Comment vous procurez-vous Science & Vie, en général ?

> *Vous êtes abonné (vous ou une autre personne de votre foyer)* 1
> *Vous l'achetez chez votre marchand de journaux (vous ou une autre personne de votre foyer)* 2
> *Autres (on vous le prête, donne…)* 3

Q3. Avez-vous le sentiment, ces derniers mois, de lire Science & Vie, avec

> *Plus d'intérêt* 1
> *Moins d'intérêt* 2
> *Sans changement* 3
> *C'est la première fois que je le lis* 4

Q4. Notez de 0 à 10 la couverture du numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout. Les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

|__|__| *sur 10*

Q5. Pour chacun des articles de ce numéro, indiquez dans le tableau ci-dessous :
a- Si vous l'avez lu, en entier, en partie, parcouru sans vraiment le lire ou pas lu du tout.
b- Si vous l'avez au moins parcouru, s'il vous a intéressé, assez, peu ou pas du tout.

	a- Lecture				b- Intérêt			
	En entier	En partie	Parcouru sans vraiment le lire	Pas lu	Beaucoup	Assez	Peu	Pas du tout
> Avant-propos (p. 7)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Sommaire (p. 8 et 9)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Forum (p. 10 à 13)	1	2	3	4	1	2	3	4
Actualités								
> Ensemble de la partie "Actus" (p. 16 à 36)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus labos (p. 16 à 24)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus environnement (p. 26 à 29)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus médecine (p. 30 à 32)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus technos (p. 34 à 36)	1	2	3	4	1	2	3	4
Événement								
> Pokémon Go : Ce n'est qu'un début ! (p. 40 à 46)	1	2	3	4	1	2	3	4
À la une								
> Antiterrorisme : Les nouvelles armes (p. 48 à 66)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Découvertes								
> Ensemble de la partie "Science & Découvertes" (p. 67 à 86)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Physique des particules : La particule X n'existe pas : Le choc ! (p. 68 à 70)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Astronomie : Non, le Soleil n'est pas une étoile comme les autres (p. 71 à 73)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Mathématiques : Nombres premiers : ils cachent un ordre secret (p. 74 à 77)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Glaciologie : Antarctique : La bombe à retardement (p. 78 à 86)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Techniques								
> Ensemble de la partie "Science & Techniques" (p. 87 à 100)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Aventure spatiale « Nous allons transformer un astéroïde en vaisseau » (p. 88 à 91)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Procréation in vitro : Vers des grossesses sans la femme (p. 92 à 96)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Bio-informatique : Le premier ordinateur à base… de muscle de lapin (p. 98 à 101)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Futur								
> Ensemble de la partie "Science & Futur" (p. 102 à 108)	1	2	3	4	1	2	3	4
LA SCIENCE & LA VIE								
> Ensemble de la partie "La Science & la vie" (p. 109 à 132)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Société								
> Automédication : Les Français rechignent toujours (p. 110 à 113)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Transports en commun : Pourquoi le téléphérique revient en ville (p. 114 à 115)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Récoltes catastrophiques en France : Nos cultures sont de plus en plus fragilisées par le climat (p. 116)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Pratique								
> Bon à savoir (p. 118 et 119)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Technofolies (p. 120 à 123)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Culture								
> Questions & Réponses (p. 124 à 127)	1	2	3	4	1	2	3	4
> À voir, à lire (p. 128 et 129)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Il y a… 100 ans : le transibérien (p. 130 à 132)	1	2	3	4	1	2	3	4

Enquête — *Répondez à cette enquête et participez à l'amélioration de Science & Vie !*

Q6. Notez de 0 à 10 ce numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout, les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

|__|__| *sur 10*

Q7. Pour chacune des phrases ci-dessous que l'on peut entendre à propos de Science & Vie, indiquez si, vous personnellement, vous êtes tout à fait d'accord, plutôt d'accord, plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord :

Les numéros de Science & Vie sont…	*Tout à fait d'accord*	*Plutôt d'accord*	*Plutôt pas d'accord*	*Pas du tout d'accord*
> *Clairs, bien organisés*	1	2	3	4
> *Agréables à lire*	1	2	3	4
> *Complets*	1	2	3	4
> *Distrayants*	1	2	3	4
> *Faciles à comprendre*	1	2	3	4
> *Riches en informations que vous ne trouvez pas ailleurs*	1	2	3	4
> *Très intéressants*	1	2	3	4

Q8. Vous est-il déjà arrivé de recommander à quelqu'un…	*Oui souvent*	*Oui rarement*	*Non jamais*
> *La lecture de numéros de Science & Vie*	1	2	3
> *Un article précis paru dans Science & Vie*	1	2	3

Q9. Si Science & Vie disparaissait, diriez-vous qu'il vous manquerait beaucoup, assez, peu ou pas du tout ?

> *Manquerait beaucoup* 1
> *Manquerait assez* 2
> *Manquerait peu* 3
> *Ne manquerait pas du tout* 4

Q10. Vous-même, depuis combien de temps lisez-vous le magazine Science & Vie ?

> *Moins d'un an* 1
> *1 à 2 ans* 2
> *3 à 5 ans* 3
> *6 à 10 ans* 4
> *11 ans et plus* 5

Q11. Quels magazines achetez-vous / lisez-vous régulièrement ?

....

Q12. Consultez-vous les sites Internet suivants ?	*2 à 3 fois par mois ou plus*	*1 fois par mois*	*1 fois tous les 2 ou 3 mois*	*Visité 1 seule fois*	*Jamais*
> *science-et-vie.com*	1	2	3	4	5
> *archives.science-et-vie.com*	1	2	3	4	5
> *sciencesetavenir.fr*	1	2	3	4	5
> *futura-sciences.com*	1	2	3	4	5
> *lemonde.fr/sciences*	1	2	3	4	5
> *pourlascience.fr*	1	2	3	4	5
> *science.gouv.fr*	1	2	3	4	5
> *franceculture.fr/rubrique/sciences*	1	2	3	4	5
> *cnrs.fr*	1	2	3	4	5
> *universcience.fr*	1	2	3	4	5

Q13. Quels sites internet consultez-vous pour trouver des informations scientifiques ?

....

Pour finir, voici quelques dernières questions destinées à mieux vous connaître.

RS1. Vous êtes…

> *Un homme* 1
> *Une femme* 2

RS2. Votre âge…

> *moins de 18 ans* 1
> *de 18 à 24 ans* 2
> *de 25 à 34 ans* 3
> *de 35 à 49 ans* 4
> *de 50 à 64 ans* 5
> *65 ans et plus* 6

RS3. Dans quelle catégorie, parmi les suivantes, pouvez-vous vous ranger personnellement et/ou le chef de famille ?

	Vous-même	*Le chef de famille*
> *Agriculteur*	1	1
> *Profession libérale*	2	2
> *Artisan, petit commerçant*	3	3
> *Chef d'une entreprise de plus de 10 salariés*	4	4
> *Cadre supérieur*	5	5
> *Cadre moyen*	6	6
> *Employé*	7	7
> *Ouvrier*	8	8
> *Élève, étudiant*	9	9
> *Retraité*	10	10
> *Autre inactif*	11	11
> *Chômeur*	12	12

RS4. Quel est votre département de résidence ? |__|__|

Vos coordonnées

Nom : ....
Prénom : ....
Adresse : ....
....
....
....
CP : ....
Ville : ....
E-mail : ....
....

Vous êtes susceptible de recevoir des informations commerciales sur nos produits par voie postale et voie électronique, veuillez cocher l'une des cases suivantes :

☐ *Non, je ne le souhaite pas* ☐ *Oui, je le souhaite*

Les informations personnelles qui vous sont demandées sont nécessaires au traitement de votre questionnaire. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 06/01/1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification, de suppression et d'opposition sur vos données nominatives. Pour exercer vos droits, il suffit de nous écrire en nous indiquant vos noms, prénom, adresse et numéro de client à l'adresse suivante : Mondadori Magazines – Marketing Science – 8, rue François ORY - 92 543 MONTROUGE CEDEX.


ANNO
1074
10 74